

ირაკლი შურღაია, ღია თედიაშვილი

მემატრონიკის საფუძვლები

„ტექნიკური უნივერსიტეტი“

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

ირაკლი შურღაია, ლია თედიაშვილი

## მექატრონიკის საფუძვლები



დამტკიცებულია სალექციო კურსად

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის  
სარედაქციო-საგამომცემლო საბჭოს

მიერ. 28.02.2018, ოქმი №1

თბილისი

2018

ნაშრომში განხილულია პერსპექტიული ტექნიკური მიმართულება, სადაც უფრო ფართოდ გამოიყენება მექატრონიკა, აღწერილია მათი აგების კონცეფციები, მექატრონიკული სისტემების ინტეგრაციის პრინციპები და სტრუქტურა, მოცემულია თანამედროვე მექატრონიკული სისტემებისა თუ მოდულების ტექნიკური მახასიათებლები მოყვანილია მათი აგების მეთოდები. სალექციო კურსში ასევე განხილულია დღეისათვის არსებული ის ძირითადი პრობლემატიკა, რომელიც წარმოიქმნება თანამედროვე სისტემების ინტელექტუალურად მართვის მეთოდების დანერგვისა და გამოყენების დროს.

სასწავლო პროგრამა განკუთვნილია სხვადასხვა ტექნიკური მიმართულებების ბაკალავრიატის, მაგისტრატურისა და დოქტორანტურის სტუდენტებისათვის. თანამედროვე მექატრონიკის საფუძვლების პროგრამით შესაძლებელია ისარგებლონ იმ დაინტერესებულმა სამეცნიერო-ტექნიკურმა პერსონალმა, რომლებიც სხვადასხვა ორგანიზაციაში ეწევა საწარმო მანქანების კონსტრუირებას და ექსპლუატაციას.

რეცენზენტები: საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის სატრანსპორტო და მანქანათმშენებლობის ფაკულტეტის კვების ინდუსტრიის დეპარტამენტის ემერიტუსი ზურაბ ჯაფარიძე,

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის სატრანსპორტო და მანქანათმშენებლობის ფაკულტეტის საწარმოო ტექნოლოგიური მანქანებისა და მექატრონიკის დეპარტამენტის ასოცირებული პროფესორი გელა ბაღდავაძე

© საგამომცემლო სახლი „ტექნიკური უნივერსიტეტი“, 2018

ISBN 978-9941-28-006-1 (PDF)

<http://www.gtu.ge>



ყველა უფლება დაცულია. ამ წიგნის არც ერთი ნაწილის (იქნება ეს ტექსტი, ფოტო, ილუსტრაცია თუ სხვა) გამოყენება არანაირი ფორმით და საშუალებით (იქნება ეს ელექტრონული თუ მექანიკური) არ შეიძლება გამომცემლის წერილობითი ნებართვის გარეშე.

საავტორო უფლებების დარღვევა ისჯება კანონით.

წიგნში მოყვანილი ფაქტების სიზუსტეზე პასუხისმგებელია ავტორი/ავტორები.

ავტორის/ავტორთა პოზიციას შეიძლება არ ემთხვეოდეს საგამომცემლო სახლის პოზიცია.

## შესავალი

დღემდე სამხედრო წარმოებისა თუ სახალხო მეურნეობის ყველა მნიშვნელოვანი დარგების განვითარებასა და პროგრესში უდიდესი წვლილი შეიტანა ტექნიკის სწრაფმა განვითარებამ.

დღეისათვის სახელმწიფოების განვითარების დონეს განსაზღვრავს ქვეყნის სხვადასხვა წარმოებაში გამოყენებული კომპიუტერთ მართვადი საწარმოო ტექნოლოგიური მანქანებისა და ინტელექტუალური დანადგარების მოხმარების რაოდენობა.

აღნიშნული მანქანა-დანადგარების კონსტრუირებას, შექმნას და ექსპლუატაციას საფუძველი დაუდო მეცნიერებისა და ტექნიკის ერთიანობის ახალმა სფერომ - მექატრონიკამ.

მექატრონიკა ბაზირებულია მექანიკის, ელექტრონიკის, კომპიუტერული მართვის თანამედროვე მეთოდებისა და ინფორმაციის სწრაფ მიღება-გადამუშავებით. სწორედ მექატრონული სისტემები და მოდულები არის ის ძირითადი ბაზა თანამედროვე ტექნოლოგიური მანქანა-აგრეგატების შექმნისათვის, რომლის საფუძველზეც წარმოების სხვადასხვა დარგი ხარისხობრივად, სრულიად განსხვავებულ, თვისობრივად ახალ დანიშნულებას იძენს. აღნიშნული მოდულები და სისტემები ასევე გამოიყენება კომპიუტერებში, საოფისე და საოჯახო ტექნიკაში, არატრადიციულ სატრანსპორტო საშუალებებში, სამედიცინო დარადგარებში, მიკრომანქანებში და სხვა თანამედროვე ტექნიკურ სისტემებში.

# თავი 1. მექატრონიკა, მისი განვითარების წინაპირობები და მექატრონული სისტემების გამოყენების სფეროები

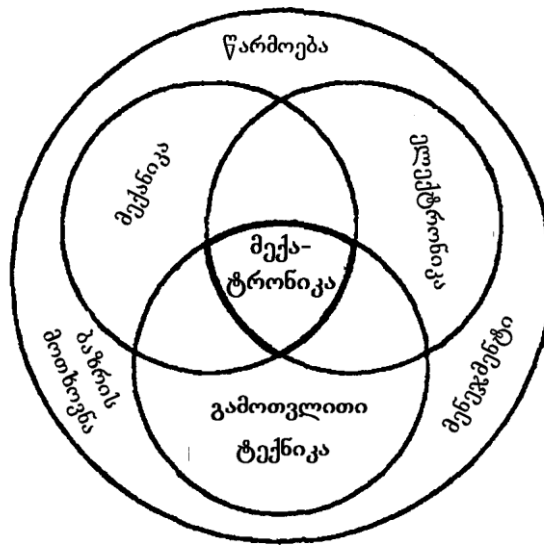
## 1.1. მექატრონიკის განსაზღვრება და ტერმინოლოგია

90-იანი წლებიდან ტექნიკურ ლიტერატურაში ტერმინი „მექატრონიკა“ სულ უფრო ხშირად გამოიყენება, როგორც დასახელება მანქანათა მთელი კლასისა, რომლებიც იმართება კომპიუტერის მეშვეობით.

მექატრონიკა საქართველოში იმყოფება მხოლოდ ფორმირების საწყის სტადიაში, ამიტომაც დღემდე მისი ბაზური ტერმინოლოგია ბოლომდე ფორმირებული არ არის. ამიტომ მოცემულ სახელმძღვანელოში მიზანშეწონილია განხილულ იქნეს განმარტებები, რომლებიც გამოხატავენ მექატრონიკის საგნის არსს, როგორც ფართო, ისე ვიწრო გაგებით.

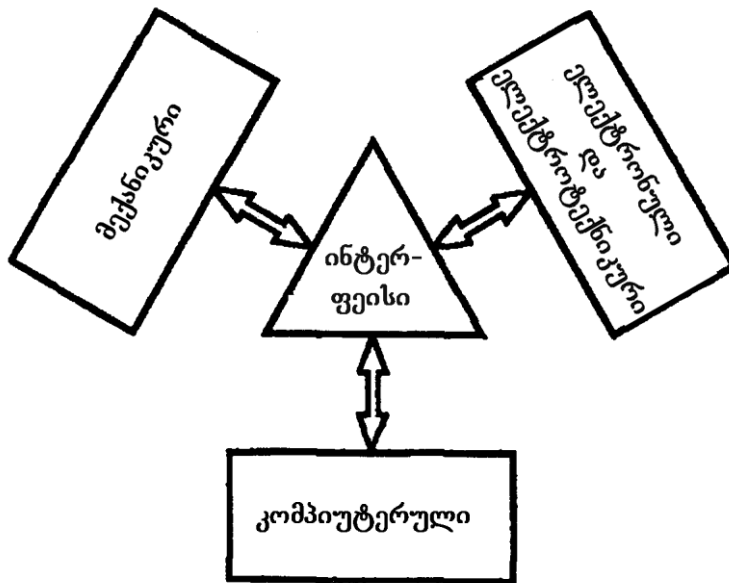
მექატრონიკა არის მეცნიერების ახალი სფერო, რომელიც ეფუძნება კომპიუტერული მართვის შესაძლებლობის მქონე მანქანებისა და სისტემების შექმნასა და ექსპლუატაციას, რომელიც ბაზირებულია მექანიკის, ელექტრონიკის და მიკროპროცესორული ტექნიკის საგნების ცოდნაზე.

მოცემულ განმარტებაში ხაზგასმულია მექატრონული სისტემების სამმაგი არსი, სადაც ჩადებულია მექანიკური, ელექტრონული და კომპიუტერული ელემენტების ღრმა ურთიერთკავშირი. ალბათ ამიტომაც მექატრონიკის ყველაზე გავრცელებულ სიმბოლოდ იქცა სამი გადაკვეთილი წრე, როგორიცაა „წარმოება-მენეჯმენტი-ბაზრის მოთხოვნილებები“ (ნახ. 1.1).



ნახ. 1.1. მექატრონიკის სიმბოლო

ამგვარად, სამი აღნიშნული სახის ელემენტთა ინტეგრაცია მექანიკა, ელექტრონიკა და კომპიუტერული მართვა წარმოადგენს მექატრონული სისტემის აგების აუცილებელ პირობას (ნახ. 1.2).



ნახ. 1.2. მექატრონული სისტემების შემადგენელი ნაწილები

სხვადასხვა საერთაშორისო განმარტებებზე დაყრდნობით მექატრონიკის, როგორც საგნის შემდეგ სპეციალურ ფორმულირებას.

მექატრონიკა შეისწავლის ზუსტი მექანიკური კვანძების სინერგეტიკულ გაერთიანებას ელექტრონულ, ელექტროტექნიკურ და კომპიუტერულ კომპონენტებთან, რომ-

ლის მიზანია ხარისხობრივად ახალი სისტემების, მანქანების, ფუნქციური მოძრაობების, ინტელექტუალურად მართვის შესაძლებლობის მქონე მოდულების პროექტირება და წარმოება.

მექატრონიკა, – არის მეცნიერებისა და ტექნიკის განსაკუთრებული სფერო, რომელიც ორიენტირებულია (განკუთვნილია) მანქანების, აგრეგატების, ინტელექტუალური სისტემების შექმნისა და ექსპლუატაციისათვის მათი მოძრაობების კომპიუტერული მართვის შესაძლებლობით. მექატრონიკა, – როგორც საგანი ეფუძნება მექანიკის, ელექტრონიკის, მიკროპროცესული ტექნიკის, ინფორმატიკისა და კომპიუტერული მართვის ფუნდამენტურ ცოდნას. მისი ღრმად შეცნობისათვის აუცილებელია ისეთი საგნების საფუძვლიანი ცოდნა როგორებიცაა: სისტემების პროგრამული მოდელირება, ინფორმაციული დახმარება, მოძრაობების სიმულაცია, ამპრავეები, გადამწოდები, მონაცემთა ბაზის შექმნა, გამოყენება და კონტროლი.

ტერმინი „მექატრონიკა“ შედგება ორი ნაწილისაგან, სიტყვა „მექა“ – მექანიკისა და „ტრონიკა“ – სიტყვა ელექტრონიკისაგან. ეს ტერმინი 1969 წელს შემოიღო იაპონური კომპანიის Yaskawa Electric-ის უფროსმა ინჟინერმა ტეცურო მორიამ.

1972 წლიდან აღნიშნული ტერმინი დარეგისტრირებული იყო როგორც სავაჭრო მარკა, მაგრამ ამ სიტყვის ფართოდ გავრცელების შემდეგ კომპანიამ უარი თქვა მის, როგორც სავაჭრო ნიშნად, გამოყენებაზე და გარკვეული დროის შემდეგ მექატრონიკა, როგორც ტერმინი, მსოფლიო ტექნიკურ ლიტერატურაში ჩამოყალიბდა მეცნიერებისა და ტექნიკის ერთიანობის განსაკუთრებულ სფეროდ.

ფართო გაგებით მექატრონიკა შეისწავლის ტექნიკურ სისტემებს, აგრეგატებს, სხვადასხვა დანიშნულების მანქანებს და მანქანათა კომპლექსებს, მოძრაობის კომპიუტერულ მართვას. მექატრონიკის მთავარი მეთოდოლოგიური იდეა მდგომარეობს ისეთ, ადრე განცალკევებულ, სამეცნიერო-ტექნიკურ სფეროების სისტემურ შეთანწყობაში, როგორიცაა ზუსტი მექანიკა, მიკროელექტრონიკა, ელექტროტექნიკა, კომპიუტერული მართვა და ინფორმაციული ტექნოლოგიები.

მექატრონულ სისტემებში მიღებულია გამოვყოთ სამი ძირითადი შემადგენელი ნაწილი, მექანიკური, ელექტრონული და კომპიუტერული, რომელთა გაერთიანება წარმოქმნის, მთლიან სისტემას (იხ. ნახ. 1.1), ხოლო მექატრონული მიდგომის არსი

აღნიშნული კომპონენტების მჭიდრო ურთიერთკავშირი ნაკეთობის სიცოცხლის ციკლის ყველა ეტაპზე (ნაკეთობის შექმნის იდეიდან უტილიზაციამდე).

ავტომატიზაციის ტრადიციულ საშუალებებთან შედარებით მექატრონული მოწყობილობების ძირითად უპირატესობად შეიძლება ჩაითვალოს:

- ინტეგრაციის მაღალი ხარისხიდან, უნიფიკაციიდან და ყველა ელემენტის და ინტერფეისების სტანდარტიზაციიდან გამომდინარე მოწყობილობების შედარებით დაბალი ფასი;

- ინტელექტუალური მართვის მეთოდების გამოყენების შედეგად რთული და ზუსტი მოძრაობების შესრულების მაღალი ხარისხი;

- მაღალი საიმედოობა, მუშაობის ხანგრძლივობა და დაბრკოლებისაგან დაცვა;

- მოდულების თანამედროვე მოთხოვნებთან შესაბამისი კონსტრუქციების კომპაქტურობა და მინიატურიზაცია.

- კინემატიკური ჯაჭვების გამარტივების შედეგად მანქანების გაბარიტული და დინამიკური მახასიათებლების გაუმჯობესება;

- რთულ მექანიკურ სისტემებში, შემკვეთის კონკრეტული მოთხოვნების მიხედვით ფუნქციური მოდულების კომპლექსაციის შესაძლებლობა.

სახელმწიფოს სამეცნიერო-ტექნიკური პროგრამების ჩარჩოებში ჩვენს ქვეყანაში შესრულებულია მთელი რიგი ფუნდამენტური სამეცნიერო კვლევები, გამოტანილია წარმატებული დასკვნები საინჟინრო და საწარმოო პროექტები აღნიშნული მიმართულებების ერთმანეთთან ინტეგრაციაში, რითაც საფუძველი ჩაეყარა თანამედროვე მექატრონული სისტემების განვითარების პოტენციალს. შექმნილია კომპლექტური ელექტრომექანიკური ამძრავების სერია, რომლებიც მაგრდება (მონტაჟდება) სხვადასხვა მანქანათა კვანძში. ავტომატიზებულ მანქანათმშენებლობაში ეს ტენდენცია მკაფიოდ გამოიყვანდა 70-80 -იან წლებში, როდესაც შეიქმნა საწარმოო და სპეციალური რობოტები, ჩარხები პროგრამული მართვით, დამამუშავებელი ცენტრები, მოქნილი საწარმოო მოდულები და სისტემები.

მექატრონული სისტემების მსოფლიოში წარმოების მოცულობა ყოველ წლიურად იზრდება და მოიცავს სულ ახალ მიმართულებებს. დღეისათვის მექატრონული მოდულები და სისტემები ფართო გამოყენებას პოულობს შემდეგ სფეროებში:

- ჩარხმშენებლობასა და მანქანათმშენებლობაში (დანადგარები ავტომატიზებული ტექნოლოგიური პროცესებისათვის);



- საავიაციო, კოსმოსურ და სამხედრო ტექნიკაში; სპეცსამსახურის მანქანებში (რობოტი გამნადმველები);

- ავტომობილების წარმოებაში (ავტომატური სამუხრუჭე სისტემები (ABS); და ავტომატური გადაცემათა კოლოფი);

- ლიფტებსა და საწყობების დანადგარებში, ავტომატური კარებსა და გამშვებებში მეტროებსა და აეროპორტებში;

- რკინიგზაში – მატარებლების მოძრაობის კონტროლისა და სტაბილიზაციის სისტემებში;

- ნავიგაციაში – გემების ცურვის კონტროლისა და სტაბილიზაციის სისტემებში;

- ინტელექტუალური დანადგარები შოუ-ინდუსტრიასა და ატრაქციონებში;

- რობოტოტექნიკაში (საწარმოო და სპეციალური);

- არატრადიციული სატრანსპორტო საშუალებებში (ელექტროველოსიპედები, სატვირთო ურიკები, ელექტროროლერები, ინვალიდის სავარძლები);

- საოფისე ტექნიკაში (მაკოპირებელი და ფაქსიმილირებული აპარატები);

- გამოთვლითი ტექნიკის ელემენტები (პრინტერები, პლუცერები);

- სამედიცინო და სპორტულ მოწყობილობებში (რეაბილიტაციური, კლინიკური, ბიოელექტრონული პროტეზები ინვალიდებისათვის);

- საყოფაცხოვრებო ტექნიკაში (სამრეცხაო, სამკერვალო, ჭურჭლის სარეცხი);

- მიკრომანქანებში (მედიცინის, ბიოტექნოლოგიების; კავშირგაბმულობისა და ტელეკომუნიკაციებისათვის);

- მაკონტროლებელ-საზომ მოწყობილობებსა და მანქანებში;

- ფოტო და ვიდეო ტექნიკაში;

- მფრინავებისა და ოპერატორების მოსამზადებელ ტრენაჟორებში; რაც

შესაძლებელია კიდევ უფრო გაფართოვდეს.

90-ან წლებიდან მექატრონიკის სწრაფად განვითარება განპირობებულია სამი ძირითადი ფაქტორით:

- მსოფლიო ინდუსტრიული განვითარების ახალი ტენდენციებით;

- მექატრონიკის მეთოდოლოგიისა და ფუნდამენტური საფუძვლების განვითარებით;

- სამეცნიერო-კვლევით და საგანმანათლებლო სფეროებში სპეციალისტების აქტიურობით;

ზემოთ აღნიშნული ფაქტორებიდან შეიძლება გამოიყოს მსოფლიო ბაზრის ძირითადი მოთხოვნების ცვლილებები და შესაბამისი ტენდენციები:

- მოწყობილობების დამზადებისა და მომსახურების აუცილებლობა საერთაშორისო ISO 9000 სტანდარტში ფორმულირებული ხარისხის მოთხოვნების შესაბამისად;

- სამეცნიერო-ტექნიკური პროდუქციის ბაზრის ინტერნაციონალიზაცია და საერთაშორისო ინჟინერინგის მეთოდების და ფორმების პრაქტიკაში აქტიურად დანერგვის აუცილებლობა;

- მცირე და საშუალო საწარმოების როლის გაზრდა ეკონომიკაში ბაზრის მოთხოვნაზე სწრაფი და მოქნილი რეაგირება;

- კომპიუტერული სისტემებისა და ტექნოლოგიების აქტიური განვითარება; ამ უკანასკნელის განვითარების ტენდენციის პირდაპირ შედეგს წარმოადგენს მექანიკური მოძრაობის, მართვის სისტემებისა და თანამედროვე მანქანების ტექნოლოგიური ფუნქციების ინტელექტუალიზაცია.

აღნიშნული ტენდენციების ანალიზი გვაჩვენებს, რომ ტექნოლოგიური მოწყობილობების ხარისხობრივად ახალი დონის მიღწევა, ტრადიციული მიდგომის საფუძველზე უკვე პრაქტიკულად არარეალურია, რის გამოც უახლეს დროში მოსალოდნელია მასიური ზრდა არატრადიციული, განვითარებული მწარმოებელი მანქანებისა, რომელთა „ხარისხი/ფასი“ შეფარდება დამოკიდებულია ახალი პარალელური მექანიზმისა და გეკსაპოდის ხარჯზე.

თავდაპირველად მექატრონულ სისტემებად მიიჩნეოდა მხოლოდ რეგულირებადი ელექტროძრავები. შემდეგ მასში შეიტანეს ავტომატური კარები, სავაჭრო ავტომატები, ფოტოკამერები ავტოფოკუსირებით და სხვ. 80-იან წლებში მექატრონული სისტემების კლასი შეივსო ციფრული პროგრამული მართვის ჩარხებით, საწარმოო რობოტებითა და ახალი სახის საყოფაცხოვრებო მანქანებით. ბოლო ათწლეულში დიდი ყურადღება ექცევა მექატრონული მოდულების შექმნას თანამედროვე ავტომობილებისათვის, ინტელექტუალური რობოტებისთვის, მიკრომანქანებისა და უახლესი კომპიუტერული თუ საოფისე ტექნიკისათვის.

მექატრონიკაში, ძირითად, კლასიფიცირებისათვის საჭირო ნიშნად მიზანშეწონილია მიღებული იქნას შემადგენელი ელემენტების ინტეგრაციის სირთულის დონე. ამ ნიშნების გათვალისწინებით მექატრონული სისტემები შეიძლება დაიყოს დონეებად ან

თაობებად, თუკი მათ გამოჩენას სამომხმარებლო ბაზარზე განვიხილავთ ისტორიის მიხედვით.

პირველი დონის მექატრონული მოდულები წარმოადგენენ მხოლოდ ორი საწყისი ელემენტის გაერთიანებას. პირველი თაობის მოდულის ტიპურ მაგალითად შეიძლება მიჩნეული იქნეს „ძრავი-რედუქტორი“, სადაც მექანიკური რედუქტორი და მართვადი ძრავი განიხილება, როგორც ერთიანი ფუნქციური ელემენტი. ამ მოდულზე დაფუძნებულმა მექატრონულმა სისტემებმა ფართო გამოყენება პოვეს წარმოების კომპლექსური ავტომატიზაციის სხვადასხვა საშუალებების (კონვეირების, ტრანსპორტიორების, მოსაბრუნებელი მაგიდების და დამხმარე მანიპულატორების) შექმნისას.

მეორე დონის მექატრონული მოდულები გამოჩნდა XX საუკუნის 80-იან წლებში ახალი ტექნოლოგიების განვითარების შედეგად, რომლებმაც შესაძლებელი გახადა სიგნალების დამუშავების მინიატურული ელექტრონული ბლოკებისა და გადაძვინების შექმნა. ამძრავი მოდულების გაერთიანებამ აღნიშნულ ელემენტებთან, შესაძლებელი გახადა მოძრაობის მექატრონული მოდულების შექმნა, რომელთა შემადგენლობა სრულიად შეესაბამება შემოღებულ განსაზღვრას, როდესაც მიღწეულია სამი სხვადასხვა ფიზიკური ბუნების მქონე მოწყობილობის მექანიკურის, ელექტროტექნიკურისა და ელექტრონულის ინტეგრირება. მოცემული კლასის მექატრონული მოდულების ბაზარზე შექმნილია ენერგეტიკული მანქანები (ტურბინები და გენერატორები), ჩარხები და ციფრული პროგრამული მართვით საწარმოო რობოტები.

მესამე თაობის მექატრონული სისტემების განვითარება განპირობებულია შედარებით იაფი მიკროპროცესორების ბაზარზე გამოჩენით, ის მიმართულია მექატრონულ სისტემებში მიმდინარე ყველა პროცესის ინტელექტუალიზაციისკენ და მათ შორის, პირველ რიგში, მანქანების და აგრეგატების ფუნქციური მოძრაობების ოპტიმალურად მართვის პროცესებისაკენ. იმავდროულად მიმდინარეობს მაღალი სიზუსტის მქონე და ამავე დროს კომპაქტური მექანიკური კვანძების, ახალი ტიპის (პირველ რიგში მაღალმომენტიანი, წრფივი და უკოლექტორო), ელექტროძრავების, უკუკავშირის მქონე გადაძვინების, ახალი პრინციპებისა და დამზადების ახალი ტექნოლოგიების შემუშავება. პრეციზიული, ინფორმაციული და მზომი მეცნიერების შემცვლელი მოწინავე ტექნოლოგიების სინთეზი იძლევა საფუძველს თანამედროვე

ინტელექტუალური მექატრონული მოდულებისა და სისტემების პროექტირებისა და წარმოებისათვის.

შემდგომი მექატრონული მანქანები და სისტემები ერთიანდება მექატრონულ კომპლექსებში ერთიანი ინტეგრაციული პლათფორმების ბაზაზე. ასეთი კომპლექსების შექმნის მიზანია – მაღალი მწარმოებლობისა და ტექნიკურ-ტექნოლოგიური გარემოს მოქნილობის შეთანწყობის მიღწევა, რაც შესაძლებელს ხდის უზრუნველყოფილი იქნეს გამოშვებული პროდუქციის კონკურენტუნარიანობა და მაღალი ხარისხი XXI საუკუნის სამომხმარებლო ბაზარზე.

საჭიროა ხაზი გაესვას იმას, რომ მექატრონიკის შექმნას სტიმული მისცა არა საერთო თეორიულმა იდეებმა (როგორც ეს იყო, მაგალითად, რობოტოტექნიკის ისტორიაში) არამედ ინჟინერ-პრაქტიკოსების ტექნიკურმა მიღწევებმა სხვადასხვა დარგში. ხოლო შემდგომში დაინტერესებული ორგანიზაციები 80-იანი წლების ბოლოს გაერთიანდა ერთიან სამეცნიერო-ტექნიკურ საზოგადოებაში.

მსოფლიოს ბევრი ქვეყნის ტექნიკურ უნივერსიტეტებში დღეისათვის აქტიურია მი ბაკალავრების, მაგისტრებისა და დოქტორანტების მომზადება მექატრონიკის სპეციალობით.

90-იანი წლების მეორე ნახევარში დაიწყო მექატრონიკის, როგორც მეცნიერების ფუნდამენტური საფუძვლების ჩამოყალიბება. 1996 წლის მარტში პირველად გამოვიდა ჟურნალი IEEE/ASME Transactions on Mechatronics, რომელიც გამოიცა „ამერიკელი ინჟინერების და მექანიკოსების საზოგადოების“ მიერ. აგრეთვე ყოველწლიურად მექატრონიკის სფეროში მსოფლიოში ტარდება რამდენიმე სპეციალიზებული სამეცნიერო-ტექნიკური კონფერენცია.

მექატრონიკის განვითარება როგორც მეცნიერების განსაკუთრებული სფერო, ტექნიკური და ტექნოლოგიური სირთულეების მიუხედავად წარმოშობს რიგ საორგანიზაციო-ეკონომიკურ პრობლემებს. თანამედროვე საწარმოებმა რომლებმაც დაიწყეს მექატრონული ხელსაწყოების დაპროექტება და დამზადება, უნდა გადაწყვიტონ ამ სფეროში არსებული რამდენიმე ძირითადი მოთხოვნა:

ადრე ერთმანეთისაგან დამოუკიდებლად არსებული მექანიკური, ელექტრონული და საინფორმაციო პროფილების სტრუქტურული ინტეგრაცია, ერთიან საპროექტო და საწარმო კოლექტივებად;

„მექატრონიკის დარგში ორიენტირებული“ ინჟინრებისა და მენეჯერების მომზადება, რომელთაც შეუძლიათ სისტემური ინტეგრაცია და ვიწროპროფილიანი სხვადასხვა კვალიფიკაციის სპეციალისტების მუშაობის ხელმძღვანელობა, წარმართვა;

ინფორმაციული ტექნოლოგიების ინტეგრაცია, სხვადასხვა სამეცნიერო ტექნიკური სფეროებიდან (მექანიკა, ელექტრონიკა, კომპიუტერული მართვა); საერთო მექატრონული ამოცანების კომპიუტერული უზრუნველყოფისათვის.

ყველა გამოყენებული ელემენტების სტანდარტიზაცია და უნიფიკაცია მექატრონული სისტემების პროექტირების დროს.

ჩამოთვლილი პრობლემების გადალახვა ითხოვს საწარმოებში ჩამოყალიბებული მართვის ტრადიციებისა და საშუალო რგოლის მენეჯერების ამბიციების გადალახვას, რომლებიც მიჩვეულნი არიან მხოლოდ თავიანთი ვიწრო სპეციალობის შესატყვისი ამოცანების გადაწვეტას.

ზემოთ მოყვანილი ანალიზი დამაჯერებლად მოწმობს მექატრონიკისადმი აღძრული სწრაფად მზარდ ინტერესზე, მიუთითებს სამეცნიერო, ტექნიკური, საგანმანათლებლო და საწარმო სფეროების სპეციალისტების დიდ მოთხოვნას, რაც თავისთავად განსაზღვრავს მექატრონიკის განვითარების პერსპექტივას XXI საუკუნეში, როგორც თანამედროვე მეცნიერებისა და ტექნიკის ერთ-ერთ განმსაზღვრელ (ძირითად) მიმართულებას.

## თავი 2. მექატრონული სისტემების ჩამოყალიბების კონცეფცია

### 2.1. მექატრონული სისტემების ძირითადი არსი

1. უნდა აღინიშნოს, რომ მექატრონიკა შეისწავლის ახალი მახასიათებლებით მანქანების აგებაში ხარისხობრივად ახალ მეთოდოლოგიურ მიდგომას, რის გამოც ეს მიდგომა უნივერსალურია და შეიძლება იქნეს გამოვიყენოთ სხვადასხვა დანიშნულების მანქანებსა და სისტემებში. სწორედ ამიტომაც სპეციალობა „მექატრონიკა“ მოქმედი კლასიფიკატორით მიეკუთვნება დისციპლინათ შორის ტექნიკურ სპეციალობების ჯგუფს, მაგრამ ამასთან ერთად საჭიროა აღინიშნოს, რომ მექატრონული სისტემების მართვის მაღალი ხარისხის უზრუნველყოფა შეიძლება მხოლოდ კონკრეტული მართული ობიექტების სპეციფიკის გათვალისწინებით. ამიტომაც მექატრონიკის სასწავლო კურსები მიზანშეწონილია შევიტანოთ სპეციალისტთა მომზადების პროგრამებშიც, სადაც ისწავლება კონკრეტული კლასის საწარმოო მანქანები და პროცესები (მაგალითად ტექნოლოგიური პროცესებისა და წარმოების ავტომატიზაცია, ლითონსაჭრელი ჩარხები, ლითონთა წნევით დამამუშავებელი მანქანები, რობოტები და რობოტოტექნიკური სისტემები).

2. მექატრონიკის, როგორც საგნის განმარტებაში ხაზგასმულია მექატრონულ ობიექტების შემადგენელი ელემენტების ინტეგრაციის სინერგეტიკული (სინერგია ბერძნული სიტყვაა და ნიშნავს შეთანხმებულ, შეწყობილ მოქმედებას, მიმართულს საერთო მიზნის მისაღწევად) ხასიათი. ამ დროს პრინციპულად მთავარია, რომ შემადგენელი ნაწილები არა მარტო ავსებდეს ერთმანეთს, არამედ ერთიანდებოდეს ისე რომ, შექმნილ სისტემას ჰქონდეს ხარისხობრივად ახალი თვისებები. მექატრონიკაში ყველა ინფორმაციული თუ ენერგეტიკული ნაკადი მიმართულია ერთი საერთო მიზნისკენ – მოცემული მართვადი მოძრაობების რეალიზაციისაკენ.

3. ინტეგრირებული მექატრონული ელემენტები, კონსტრუქტორებისა და შემმუშავებლის მიერ შეირჩევა მანქანის პროექტირების სტადიაში, რის შემდეგაც ხდება მათი აუცილებელი ინჟინრული და ტექნოლოგიური უზრუნველყოფა. ამაშია რადიკალური

განსხვავება მექატრონულ და ტრადიციულ მანქანებს შორის, როდესაც მომხმარებელი იძულებული იყო სხვადასხვა დამამზადებლების მიერ შექმნილი მექანიკური, ელექტრონული და საინფორმაციო-სამართავი მოწყობილობები თვითონ ჩაერთო ერთ სისტემაში. სწორედ ამიტომაც ბევრმა რთულმა კომპლექსმა პრაქტიკაში აჩვენა საიმედოობისა და ტექნიკურ-ეკონომიკური ეფექტურობის დაბალი მაჩვენებელი.

4. მექატრონული სისტემების შემუშავებას საფუძვლად უდევს პარალელური პროექტირების მეთოდები. მანქანების ტრადიციული პროექტირების დროს კომპიუტერული მართვით, თანამიმდევრულად ტარდება მექანიკური, ელექტრონული და კომპიუტერული ნაწილების შემუშავება, შემდეგ კი ხდება ინტერფეისული ბლოკების არჩევა. პარალელური პროექტირების პარადიგმა მდგომარეობს სისტემის ყველა კომპონენტების ერთდროულ და ურთიერთდამოკიდებულ სინთეზში.

5. მექატრონიკის შესწავლის საბაზო ობიექტებს წარმოადგენენ მექატრონული მოდულები, რომლებიც ასრულებს მოძრაობას, როგორც წესის ერთი მართული კოორდინატის (მიმართ) გასწვრივ. ამ მოდულებიდან, როგორც ფუნქციური კუბიკებისაგან, იწყობა მოდულური არქიტექტურის რთული სისტემები.

6. როგორც განსაზღვრებიდან გამომდინარეობს, რთული მექატრონული სისტემები განკუთვნილია, მოცემული მოძრაობის რეალიზაციისათვის. მექატრონული სისტემებისთვის მოძრაობის შესრულების ხარისხის კრიტერიუმი არის პრობლემებზე ორიენტირებული, ე. ი. კონკრეტული გამოყენებითი ამოცანის დასმა. ავტომატიზებული მანქანათმშენებლობის ამოცანათა სპეციფიკა მდგომარეობს ტექნოლოგიური მანქანის გამომავალი რგოლის – მუშა ორგანოს გადაადგილების შესრულებაში. ამასთან ერთად აუცილებელია მექატრონული სისტემის სივრცითი გადაადგილების მართვის კოორდინირება მართვასთან სხვადასხვა გარეშე პროცესების. ასეთი პროცესების მაგალითებად შეიძლება ვიგულისხმოთ: მუშა ორგანოს, სამუშაო ობიექტთან ძალური ურთიერთქმედების რეგულირება მექანიკური დამუშავების დროს; მექატრონული სისტემის კრიტიკული ელემენტების მიმდინარე მდგომარეობის დიაგნოსტიკა და კონტროლი (ინსტრუმენტების ძალური გარდამქმნელების); დამატებითი ტექნოლოგიური ზემოქმედების მართვა მუშა ობიექტზე (სითბური, ელექტრონული, ელექტროქიმიური); კომბინირებული დამუშავების შემთხვევაში; კომპლექსის დამატებითი მოწყობილობების მართვა (კონვეირის, ჩამტვირთი); ელექტროავტომატური მოწყობილობებიდან სიგნალების გადაცემა და მიღება (სარქვლის, რელეების, გადამრთველების)

და სხვ. მექატრონული სისტემების ასეთ რთულ კოორდინირებულ მოძრაობას შემდეგში ვუწოდებთ ფუნქციურ მოძრაობებს.

7. თანამედროვე მექატრონულ სისტემებში, რათა უზრუნველყოფილი იყოს რთული და ზუსტი მოძრაობები, გამოიყენება ინტელექტუალური მართვის მეთოდები. ამ მეთოდით მოცემული ჯგუფი ეყრდნობა მართვის თეორიის ახალ იდეებს, გამოთვლითი ტექნიკის თანამედროვე აპარატურულ და პროგრამულ საშუალებებს, მექატრონული სისტემების მართვადი მოძრაობების სინთეზის პერსპექტიულ მიდგომებს.

საჭიროა კიდევ ერთხელ აღინიშნოს, რომ მექატრონიკა, როგორც მეცნიერებისა და ტექნიკის ახალი სფერო, იმყოფება ჩამოყალიბების სტადიაში, მისი ტერმინოლოგია და კლასიფიციური ნიშნები კიდევ არ არის დაზუსტებული.

## 2.2. მექატრონული სისტემების ინტეგრაციის

### სტრუქტურა და პრინციპები

განვიხილოთ მანქანათა კომპიუტერული მართვის შესაძლებლობების მქონე განზოგადებული სტრუქტურა, რომელიც ორიენტირებულია ავტომატიზებული მანქანათმშენებლობის ამოცანებზე და ამ სქემის აგებულება საფუძვლად უდევს ავტომატური რობოტების სტრუქტურას.

განხილული კლასის მანქანებისათვის გარე გარემოს წარმოადგენს ტექნოლოგიური გარემო, რომელიც შეიცავს სხვადასხვა ძირითად და დამხმარე მოწყობილობას, ტექნოლოგიურ აღჭურვილობას და სამუშაო ობიექტებს. მექატრონული სისტემის მიერ დადგენილი ფუნქციური მოძრაობის შესრულების დროს, სამუშაო ობიექტები ახდენენ ამგზნებ ზემოქმედებას მუშა ორგანოზე. ასეთი ზემოქმედების მაგალითებათ შეიძლება მოვიყვანოთ მჭრელი ძალები, მექანიკური დამუშავების დროს, კონტაქტური ძალები და ძალის მომენტები აწყობისას, სითხის ჭავლის რეაქციის ძალა ჰიდრავლიკური ჭრის ოპერაციის დროს და სხვ.

გარე გარემო შეიძლება დაიყოს ორ ძირითად კლასად: დეტერმინირებულად და არადეტერმინირებულად. დეტერმინირებულებს მიეკუთვნებიან გარემოებები, რომელ-



თათვისაც ამგზნები ზემოქმედების პარამეტრები და სამუშაო ობიექტების მახასიათებლები შეიძლება იყოს წინასწარ განსაზღვრული მექატრონული სისტემების პროექტირებისათვის აუცილებელი ადეკვატურობის ხარისხით, ხოლო უფრო იშვიათად ზოგიერთი გარემოება არის არადეტერმინირებული თავისი ბუნებით (მაგალითად, ექსტრემალური გარემოება: მიწისქვეშა, წყალქვეშა და ა. შ.). ტექნოლოგიური გარემოს მახასიათებლები, როგორც წესი, შეიძლება განსაზღვრული იქნეს ანალიტიკურ-ექსპერიმენტური გამოკვლევებისა და კომპიუტერული მოდელირების მეთოდების მეშვეობით. მაგალითად, მჭრელი ძალების შესაფასებლად მექანიკური დამუშავების დროს ძირითადად ატარებენ ექსპერიმენტების სერიას სპეციალურ საკვლევ დანადგარებზე, ხოლო ვიბრაციული ზემოქმედების პარამეტრებს ზომავენ ვიბროსტენდებზე საჭირო მათემატიკური მონაცემებით და კომპიუტერული მოდელირების გამოყენებით.

მაგალითად, ჩამოსხმულ დეტალებზე ნატეხების მოცილების რობოტიზებული ოპერაციის დროს მუშა ორგანოებზე ძალების ზემოქმედების წინასწარი შეფასებისათვის აუცილებელია ყოველი დეტალის ფორმისა და ზომის გაზომვა. ამ შემთხვევისას მიზანშეწონილია ადაპტური მართვის მეთოდების გამოყენება, რომლებიც ოპერაციის მსვლელობის დროს საშუალებას იძლევა, ავტომატურად გაუკეთოს კორექტირება მექატრონული სისტემების მოძრაობის კანონს.

- მექანიკური მოწყობილობა, რომლის საბოლოო ელემენტს წარმოადგენს მუშა ორგანო;

- ამძრავი ბლოკი, რომელიც შეიცავს ძალურ გარდამქმნელებს და შემსრულებელ ძრავებს;

- კომპიუტერული მართვის მოწყობილობა, რომელთა ზედა ზღვარი, არის ადამიანი ოპერატორი ან კომპიუტერულ ქსელში შესული (ჩართული) სხვა ელექტრონული გამომთვლელი მანქანები;

- სენსორები, რომლებიც განკუთვნილია მანქანების ბლოკების და მექატრონული სისტემების ფაქტური მდგომარეობის შესახებ ინფორმაციის მართვისა და გადაცემისათვის.

ამრიგად, სამი აუცილებელი ნაწილის არსებობა – მექანიკურის, ელექტრონულის და კომპიუტერულის, რომლებიც ერთმანეთთან დაკავშირებულია ენერგეტიკული და

ინფორმაციული ნაკადებით, წარმოადგენს მექატრონული სისტემების განსხვავებულობის უპირველეს ნიშანს.

ელექტრომექანიკური ნაწილი შეიცავს მექანიკურ რგოლებს და გადაცემებს, მუშა ორგანოს, ელექტროძრავებს, სენსორებს და დამატებით ელექტროტექნიკურ ელემენტებს (მუხრუჭებს, ქანჩებს და ა. შ.). მექანიკური მოწყობილობა განკუთვნილია შემადგენელი რგოლების მოძრაობების, მუშა ორგანოს სასურველ მოძრაობებად გარდასაქმნელად. ელექტრონული ნაწილი შედგება მიკროელექტრონული მოწყობილობებისაგან, ძალური გარდაქმნებისაგან და წრედების გასაზომი ელექტრონიკისაგან. სენსორები განკუთვნილია გარე გარემოსა და სამუშაო ობიექტების ფაქტიური მდგომარეობის მონაცემების ასაკრებად და ამ ინფორმაციის გადასაცემად კომპიუტერული მართვის მოწყობილობაში (კმმ). კმმ-ის შემადგენლობაში შედის მაღლივი დონის კომპიუტერული და მოძრაობის მართვის მაკონტროლებლები.

კომპიუტერული მართვის მოწყობილობები ასრულებენ შემდეგ ძირითად ფუნქციებს:

1. მექატრონული მოდულის ან მრავალგანზომილებიანი სისტემის მექანიკური მოძრაობის პროცესის მართვას რეალურ დროში, სენსორული ინფორმაციის დამუშავებით;

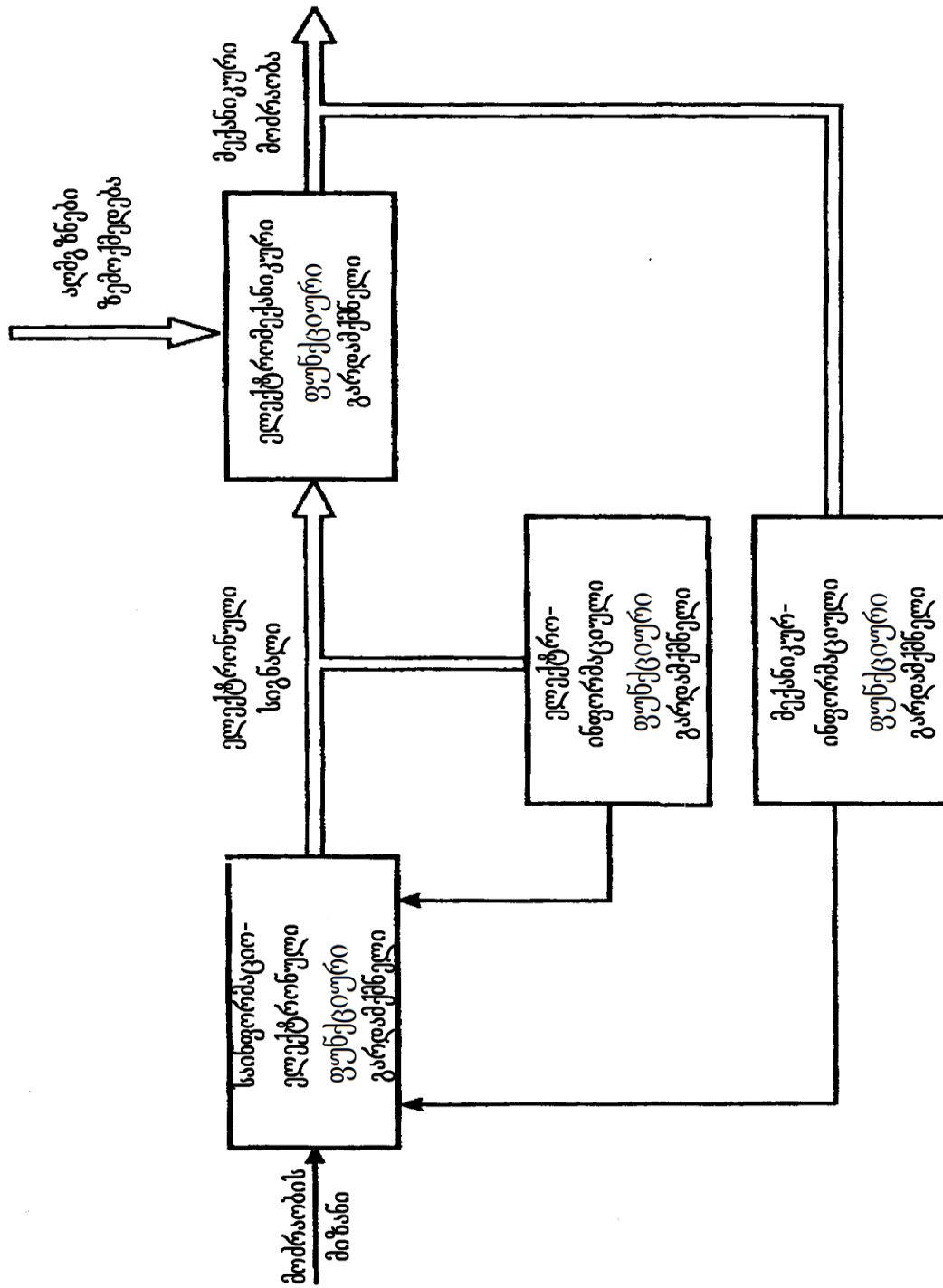
2. მექატრონული სისტემების ფუნქციური მოძრაობების მართვის ორგანიზაციას, რომელიც გულისხმობს მექატრონული სისტემების მექანიკური მოძრაობისა და გარე პროცესების მართვის კოორდინაციას. გარე პროცესების მართვის ფუნქციის რეალიზაციისათვის, როგორც წესი, გამოიყენება დისკრეტული შემაჯავალი/გამომავალი მოწყობილობები;

3. მექანიკური სისტემების უშუალოდ მოძრაობის პროცესში ურთიერთქმედებას ადამიანი-ოპერატორიდან ადამიან-მანქანის ინტერფეისთან, პროგრამირების რეჟიმში;

4. მონაცემთა გაცვლის ორგანიზებას პერიფერიული მოწყობილობების, სენსორების და სისტემის სხვა მოწყობილობების საშუალებით.

უკუკავშირის პრინციპის საფუძველზე მექატრონული სისტემის ამოცანას წარმოადგენს, ზემო დონიდან წამოსული მართვის მიზანის შესახებ ინფორმაციის გარდაქმნა, სისტემის მიზანმიმართულ ფუნქციურ მოძრაობად.

ენერგეტიკული და ინფორმაციული ნაკადების სვლის ილუსტრირებული ბლოკ-სქემა მოცემულია 2.1 ნახ-ზე.



ნახ. 2.1. ინფორმაციული და ენერგეტიკული ნაკადი

მექატრონულ სისტემებში

➔ ენერგეტიკული ნაკადი

➔ ინფორმაციული ნაკადი

ნდობლივია, რომ ელექტრონული ენერგია თანამედროვე სისტემებში გამოიყენება, როგორც შუალედური ენერგეტიკული ფორმა. ამგვარად, მექატრონული სისტემის ფიზიკური რეალიზაციისათვის თეორიულად აუცილებელია ოთხი ძირითადი ფუნქციური ბლოკი. ესენია: თანამიმდევრულად შეერთებული ინფორმაციულ-ელექტრული და ელექტრომექანიკურ-ენერგეტიკული გარდამქმნელები პირდაპირ ჯაჭვში და ელექტრო-ინფორმაციული და მექანიკურ-ინფორმაციული გარდამქმნელი უკუკავშირის ჯაჭვში.

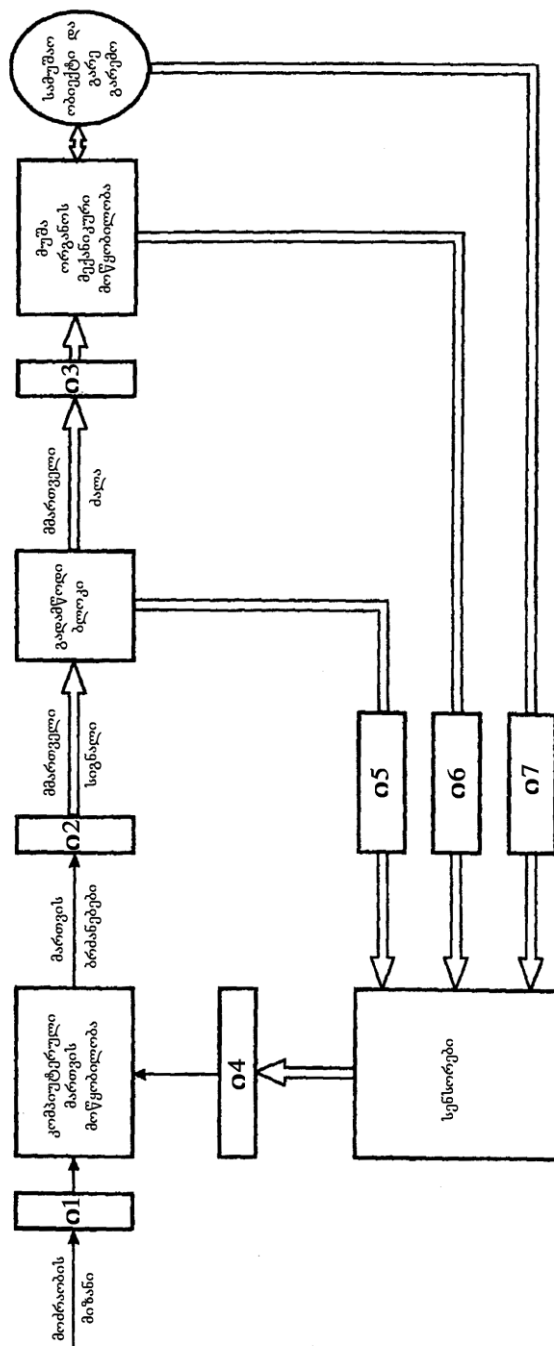
**შენიშვნა:** თუკი მანქანის ძალური ნაწილის მუშაობა, ენერგეტიკული თვალსაზრისით დაფუძნებულია ჰიდრავლიკურ, პნევმატურ ან კომბინირებულ (ელექტრო-ჰიდრავლიკურ) პროცესებზე, მაშინ აუცილებელია უკუკავშირის ჯაჭვში შესაბამისი გარდამქმნელები და გადამწოდები.

2.2 ნახაზიდან შესაძლებელია გავანალიზოთ გარდაქმნების ფიზიკური ხასიათი და ტრადიციული მანქანის სტრუქტურა, კომპიუტერულ მართვასთან.

კომპიუტერული მართვის მოწყობილობა, შემომავალი ინფორმაციის საფუძველზე, სენსორებიდან განსაზღვრულ დროში იძლევა შემსრულებელ ამძრავებზე ელექტრონულ სიგნალებს. აღნიშნული სიგნალები შეედინება ზემო დონის მართვიდან და უკუკავშირის წრედებიდან, ძალურ გარდაქმნელებში ხდება გაძლიერება მოცემული სიგნალების სიმძლავრის მიხედვით, ე. ი. მათი მოდულაცია (განსაკუთრებულად ხშირად გამოიყენება ფართო-იმპულსური მოდულატორები). რის შემდეგაც შემსრულებელი ამძრავები განავითარებენ შესაბამის ძალასა და მომენტს მექანიკური მოწყობილობის რგოლებზე, რაც შედეგად იწვევს მანქანის ბოლო რგოლის – მანქანის მუშა ორგანოს მიზანმიმართულ მოძრაობას. ელემენტების შეუღლებისათვის სისტემაში ტრადიციულად შემოაქვთ სპეციალური ინტერფეისული მოწყობილობები, რომლებიც ნახ. 2.2-ზე აღინიშნება 01–07.

განვიხილოთ ბლოკთაშორისი ინტერფეისების მაგალითები, რომლებიც განსაკუთრებულად ხშირად გვხვდება მანქანებში, რომლებიც კომპიუტერით იმართება (საწარმოო რობოტები) და ფართოდ გამოიყენება ავტომატიზებულ მანქანათმშენებლობაში. ინტერფეისი 01 წარმოადგენს ქსელურ აპარატულ-პროგრამული საშუალებების კომპლექსს, რომელშიც კომპიუტერული მართვის მოწყობილობები

შეერთებულია კომპიუტერულ ქსელთან, რადგან ეს წარმოადგენს ინტერფეისს ადამიანი მანქანისა, მაშინ როდესაც მექატრონულ სისტემაში მართვის მიზანი უშუალოდ ადამიანი-ოპერატორია.



ნახ. 2.2. ტრადიციული მანქანის ბლოკ-სქემა კომპიუტერული მართვით  
(O1-O7 – ინტერფეისული ბლოკები)

თანამედროვე ადამიანი-მანქანის ინტერფეისები იგება დისტანციური მართვის სამართავებისა და სამარჯვებისაგან, კომპიუტერების

პერიფერიული მოწყობილობებისაგან (კლავიატურა, მონიტორი, ჯოისტიკი), ვირტუალური რეალობის სისტემებში ინფორმაციული ასახვის მოწყობილობებისაგან (ხელთათმანები, ჩაფხუტი ჩამაგრებული ოკულარებით).

ინტერფეისი ი2 შედგება ციფრულ-ანალოგიური და გამაძლიერებელ-გარდამქმნელი მოწყობილობისაგან. ის ემსახურება შემსრულებელი ამპრავებისათვის მმართველი ელექტრული ძაბვების ფორმირებას.

ინტერფეისი ი4 კომპიუტერული მართვის მოწყობილობის შესასვლელზე მექანიკური სისტემების სენსორების გამოყენების შემთხვევაში იგება ანალოგიური გამომავალი სიგნალით, ანალოგო ციფრული გარდამქმნელების საფუძველზე.

ინტერფეისი ი3 წარმოადგენს, როგორც წესი, მექანიკურ გადაცემებს, რომლებიც აკავშირებენ შემსრულებელ ძრავებს მექანიკური მოწყობილობის რგოლებთან. კონსტრუქციულად ასეთი ტრანსმისიები შეიცავს რედუქტორებს, მოქნილ შენაერთებს, მუხრუჭებს და ა. შ.

ი5, ი6 და ი7 სენსორების ინტერფეისები, სისტემაში შემავალი ცვალებადი მდგომარეობის ფიზიკური თვისებების ხასიათის მიხედვით შეიძლება დაიყოს ელექტრულად და მექანიკურად. მექანიკურს მიეკუთვნება უკუკავშირის მქონე გადამწოდი შემაერთებელი მოწყობილობები. ესენია: ფოტოიმპულსები, კოდური, ტახოგენერატორები, პოტენციომეტრები, ძალურმომენტური და ტაქტილური აღმრიცხველები და ასევე ძრავების მოძრაობის ინფორმაციის და ამოცნობის სხვა საშუალებები. სისტემის ცვალებადი მდგომარეობის შესახებ სიგნალის გადაცემა და გარდაქმნა, რომლებსაც აქვთ ელექტრული ბუნება (მაგალითად, დაძაბულობები და დენები ძალურ გარდაქმნელებში), ხდება ელექტრული ინტერფეისებით. მათ შემადგენლობაში გამაძლიერებელ-გარდამქმნელ სქემებთან ერთად შედის ასევე დამაკავშირებელი გაყვანილობები და კომუტაციური აპარატურა.

საჭიროა აღინიშნოს, რომ ყველა ელემენტის კავშირი კომპიუტერული მართვის მოწყობილობებთან გულისხმობს არა მარტო აპარატურულ შეთანაწყობას, არამედ რეალური დროის რეჟიმში სათანადო პროგრამულ უზრუნველყოფას და მონაცემთა გაცვლის პროცესის ორგანიზირებას.

პრინციპულად განსხვავებული მიდგომა მექატრონული და ტრადიციული მოდულებისა და მანქანების დაპროექტება დამზადებაში, რომლებიც კომპიუტერულად

იმართება მდგომარეობს ფუნქციური გარდამქმნელების ტექნიკური რეალიზაციის კონცეფციის სხვადასხვაობაში. ტრადიციული პროექტირების დროს ინტერფეისები წარმოადგენს ცალკეულ დამოუკიდებელ მოწყობილობას და კვანძს. ხშირად ეს არის სეპარატული ბლოკები, რომლებსაც ძირითადად აწარმოებენ სპეციალიზირებული ფირმები, მაგრამ ხშირ შემთხვევაში ცალკეული ელემენტები იწარმოება თვით მომხმარებლის მიერ, განსაკუთრებით ეს ხდება მექატრონულ სისტემებში სპეციალიზირებული და არასტანდარტული ბლოკების შეუღლების დროს. საწარმოო პრაქტიკამ აჩვენა, რომ რთული საწარმოო კომპლექსების მონტაჟისა და გაშვებისას (მაგალითად, მოქნილი საწარმო ხაზებისა და სისტემების) საწარმოებს, რომლებსაც არ ჰყავთ მაღალკვალიფიციური სპეციალისტები სისტემურ ინტეგრაციაში, იძულებული არიან მიმართონ ინჟინერინგულ ფორმებს, რის გამოც მათ ეზრდებათ საწარმოო დანახარჯები. თუ შევადარებთ 2.1 და 2.2 ბლოკის სისტემებს, შეიძლება დავასკვნათ, რომ გარდამქმნელი და მათ შორის ინტერფეისული ბლოკების რაოდენობა, მანქანის ტრადიციულ სტრუქტურაში კომპიუტერული მართვით მეტია ენერგეტიკულ-ინფორმაციული ფუნქციონალური გარდამქმნელების აუცილებელ რიცხვთან შედარებით. აქედან გამომდინარე, ზედმეტი ბლოკების არსებობა იწვევს მექატრონული სისტემის სიზუსტის და საიმედოობის დაქვეითებას მათი ღირებულებისა და მასგაბარიტული მაჩვენებლის გაუარესებას.

მთლიანობაში მექარონიკაში წამყვანი პერიოდული ჟურნალის მონაცემებით 2000 წელს მექატრონული სისტემების მსოფლიო ბაზარმა შეადგინა 100 მილიარდი დოლარი, რომელთაგანაც დაახლოებით 1/10 რობოტექნიკისაა.

სათადარიგო გარდაქმნების მინიმიზაციის იდეა ფართოდ გამოიყენება საინჟინრო პრაქტიკაში სხვადასხვა დანიშნულების სისტემებისა და მოწყობილობების პროექტირების დროს. ასეთი ინჟინერული იდეის რეალიზაციის მაგალითს წარმოადგენს „ვიდეორეული“, „მონობლოკი“, რომლის შემადგენლობაშიც შედის ტელევიზორი და ვიდეომანგიტოფონი. რით ხელმძღვანელობენ მყიდველები, როდესაც უპირატესობას ანიჭებენ ვიდეორეულს ტელევიზორისა და ვიდეომანგიტოფონის ცალ-ცალკე ყიდვასთან შედარებით. პირველი – უპირობო მოგება ღირებულებაში, მეორე – არ არის საჭირო გარკვევა კაბელების შეერთებაში, მესამე – აქვს მნიშვნელოვანი უპირატესობა გაბარიტებში, საერთო კორპუსი და დადგმის მოხერხებულობა. ამასთან ერთად მყიდველმა ისიც უნდა იცოდეს, რომ ვიდეომეორეული ერთის მხრივ არის მოუქნელი

სისტემაც, რადგან დანადგარი შეიძლება ექსპლატირებული იქნეს ერთდროულად, მაგრამ გაფუჭების შემთხვევაში, ასევე ხდება მათი ერთობლიობაში გარემონტებაც. მექატრონული მიდგომის არსი მდგომარეობს ორი და მეტი სხვადასხვა ფიზიკური ბუნების ელემენტის ერთიან ფუნქციურ მოდულთან ინტეგრაციაში. სხვა სიტყვებით რომ ვთქვათ, მოდელის პროექტირების სტადიაში, ტრადიციული მანქანის სტრუქტურიდან გამოირიცხება, როგორც სეპარატული მოწყობილობა (ერთი ინტერფეისი მაინც), მაშინ როდესაც გარდაქმნის ფიზიკური არსი შენარჩუნებულია და ეს სრულდება მოცემული მოდულის მიერ. მომხმარებლისათვის იდეალურ ვარიანტში მექატრონული მოდული მიიღებს რა შესასვლელზე ინფორმაციას მართვის მიზანზე, მოცემული მახასიათებლებით შეასრულებს მაღალი ხარისხის პროგრამულ ფუნქციურ მოძრაობას.

მექატრონული მიდგომის არსს ისიც წარმოადგენს, რომ ის მიმართულია კონკრეტული კლასის ელემენტების ინტეგრაციისაკენ. ესენია მექანიკური, ელექტრონული, კომპიუტერული, ელექტრომექანიკური და სხვა ინტერფეისები, რომლებსაც აქვთ პრინციპულად განსხვავებული ფიზიკური ბუნება და განკუთვნილი არიან რთული ფუნქციური მოძრაობის შესასრულებლად. ელემენტთა აპარატურულ გაერთიანებას ერთიან კონსტრუქციულ მოდულში აუცილებლად უნდა მოყვებოდეს ინტეგრირებული პროგრამული უზრუნველყოფის შემუშავებაც. მექატრონული სისტემების პროგრამული საშუალებები უნდა უზრუნველყოფდნენ უშუალო გადასვლას სისტემის ჩანაფიქრიდან, მათემატიკური მოდელირების საშუალებით ფუნქციური მოძრაობის მართვამდე რეალურ დროში. ამგვარად მექატრონული სისტემის პროექტირება გულისხმობს აპარატურული პროგრამული საშუალებების კომპლექსის შემუშავებას, რომლებიც ორიენტირებული არიან კონკრეტულ გამოყენებით სამუშაოზე. ფორმულირებული მექატრონული მიდგომის რეალიზაციისათვის უნდა განისაზღვროს ელემენტების ინტეგრაციის ლოკალური წერტილები ერთიან ფუნქციონალურ მოდულში. ამისათვის დავუბრუნდეთ 2.2-ბლოკ სქემის განხილვას. აპარატურული ინტეგრაციის პოტენციალურად შესაძლებელი წერტილები და მექატრონული მოდულების შესაბამისი სტრუქტურები წარმოდგენილია 1-ელ ცხრილში. ზემოთ მოყვანილ ცხრილში მექატრონული მოდულები კლასიფიცირებულია მათ შემადგენლობაში შემავალი ელემენტების სიმრავლის მიხედვით (სვეტი 1 და 2). მე-3 სვეტში მითითებულია ინტერფეისები, რომლებიც ტრადიციული სტრუქტურიდან პროექტირებისას გამოირიცხება,



როგორც სეპარატული ბლოკები. ცხრილში არ განიხილება ინტერფეისები 01, 07, რომლებიც თავიანთი არსით შემავალები (შემსვლელები) არიან მექატრონული მოდულის, რადგან აკავშირებენ მას გარე სიგნალების წყაროებთან და ზემოქმედებებთან. ინტერფეისების აწყობის თავისებურებანი (01, 02, 04) კომპიუტერული მოწყობილობისათვის დეტალურად განხილულია 3.5 თავში. საჭიროა ხაზგასმა, რომ პრაქტიკაში მიზანშეწონილია აიგოს მექატრონული მოდული ერთდროულად ინტეგრაციის რამდენიმე წერტილზე დაყრდნობით, რადგან ასეთი მოდულების შექმნა წარმოადგენს მექატრონიკისათვის ყველაზე დიდ ინტერესს თეორიული და გამოყენებითი თვალსაზრისით, როგორც მეცნიერებისა და ტექნიკის ახალი დარგი. რა თქმა უნდა, მოცემული ცხრილი არ ამოწურავს ელემენტთა გაერთიანების ყველა შესაძლო ხერხს მექატრონულ სისტემაში და ტოვებს დიდ ადგილს მეცნიერულ ძიებისათვის და ინჟინრული შემოქმედებისათვის.

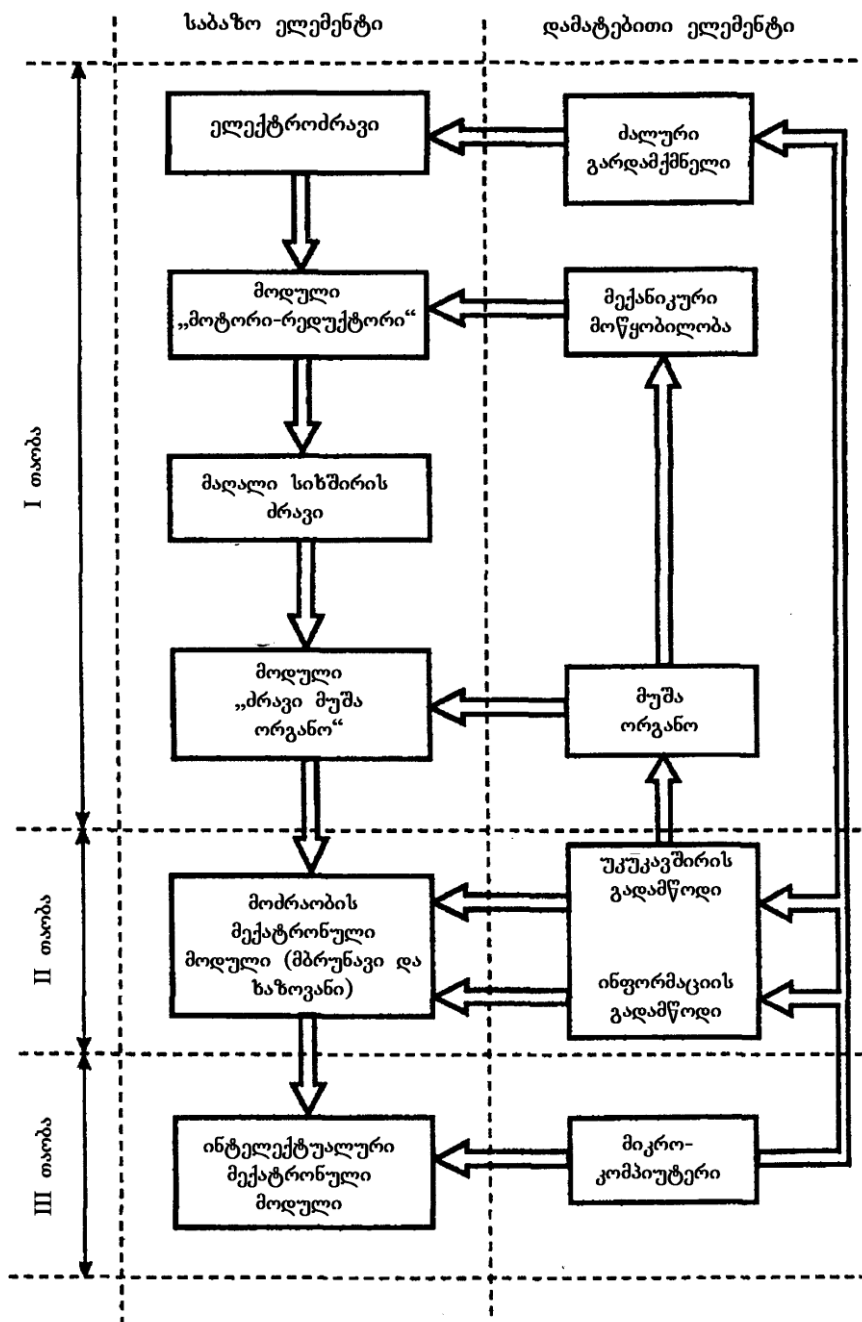
მითითებული კლასის თანამედროვე მექატრონული სისტემების აგების პრინციპები, კონსტრუქციული სქემები და ტექნიკური აღწერილობა შესაბამისად მოცემულია მე-3 და მე-4 თავებში.

ცხრილი 1

მექატრონული მოდული	საწყისი ელემენტები		
	საბაზო ელემენტი	შემავსებელი ელემენტი	გამორიცხული ინტერფეისები
ინტელექტუალური და ძალური გარდამქმნელი	ძალური გარდამქმნელი	მიკროპროცესორი	02
გადამცემი მოდული	შემსრულებელი ძრავი	მექანიკური მოწყობილობა	03
ინტელექტუალური სენსორი	სენსორი	მიკროპროცესორი	04
მოძრაობის მექატრონული მოდული	გადამცემი მოდული	სენსორი	03, 05
სენსიბილიზებული მუშა ორგანო	მუშა ორგანო	სენსორი	06

### თავი 3. მექატრონული მოძრაობის მოდულები

განვიხილოთ მოძრაობის ერთკოორდინატიანი მოდულების ძირითადი სახეები. ავტომატიზებულ მანქანათმშენებლობაში დასმული ამოცანების ამოსახსნელად შემუშავებულია მოძრაობის მექატრონული მოდულები, რომლებიც წარმოადგენენ ფუნქციურ „კუბიკებს“ რომელთაგანაც შეიძლება რთული მექატრონულ სისტემების აგება. საერთო სქემა, რომელიც გამოხატავს მოძრაობის მექატრონული მოდულების ევოლუციას, მოტორი-რედუქტორიდან ინტელექტუალურ მოდულებამდე, მოყვანილია ნახ. 3.1-ში.



ნახ. 3.1. მექატრონული მოდულის მოძრაობის განვითარების სქემა.

მოცემული სქემა, მიუხედავად მისი აშკარა პირობითობისა, უკვე ცნობილი მოძრაობის მექატრონული მოდულების სისტემატიზაციის მიზნით შემუშავებულია შემადგენლობისა და ელემენტების ინტეგრაციის ხარისხის მიხედვით.

### 3.1 მოტორ-რედუქტორები

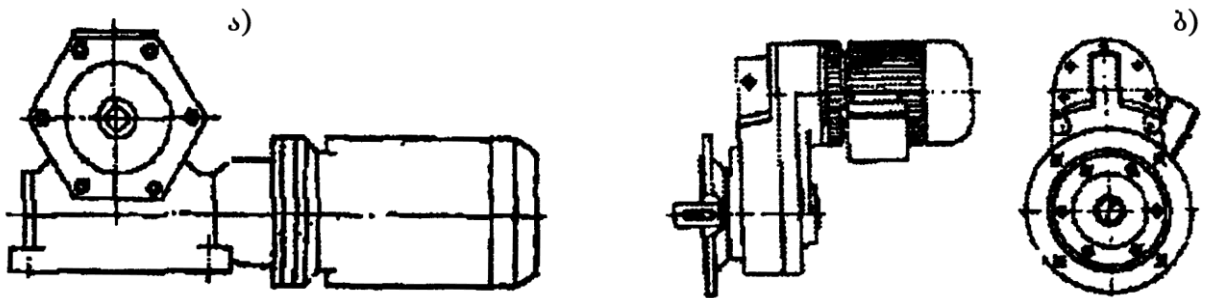
თავისი შექმნის პრინციპითა და ისტორიით მოტორ-რედუქტორები წარმოადგენს პირველ მექატრონულ მოდულებს, რომლებიც გამოშვებულ იქნა სერიულად და დღესაც ფართოდ გამოიყენება სხვადასხვა მექანიზმისა და მანქანის ამძრავებში. მოტორ რედუქტორი წარმოადგენს კომპაქტურ კონსტრუქციულ მოდულს, რომელიც აერთიანებს ელექტროძრავასა და რედუქტორს. ძრავისა და რედუქტორის შეერთებისაგან განსხვავებით, ქუროთი შეერთებულ მოტორ-რედუქტორს გააჩნია მთელი რიგი უპირატესობა:

- გაბარიტული ზომების შემცირების შესაძლებლობა;
- თვითღირებულების შემცირება შემაერთებელი დეტალების რაოდენობის შემცირების ხარჯზე;
- დამონტაჟებაზე, ნაკეთობის გაწყობაგაშვებაზე დანახარჯების შემცირება, რაც საერთოდ - ნაკეთობის ღირებულების შემცირებას იწვევს;
- გაუმჯობესებული ექსპლუატაციური თვისებები,
- მტვრისა და სინესტისაგან დაცულობა;
- ვიბრაციის მინიმალური დონე და მუშაობის საიმედოობა რთულ საწარმო პირობებში.

მოდულის კონსტრუქციულობა განისაზღვრება მასში გამოყენებული რედუქტორისა და ელექტროძრავის ტიპებით.

ამოცანის ტექნიკური მოთხოვნებიდან გამომდინარე, გამოიყენება ცილინდრული, კონუსური, ჭიახრახნული და სხვა ტიპის რედუქტორები. ელექტროძრავებად უფრო ხშირად გამოიყენება ასინქრონული ძრავები მოკლე ჩართვის როტორითა და ბრუნვის სიხშირის რეგულირებადი გარდამქმნელებით, აგრეთვე ერთფაზიანი და მუდმივი დენის ძრავებიც. ერთსაფეხურიანი ჭიახრახნული მოტორ-რედუქტორის საერთო ხედი ნაჩვენებია 3.2 ნახ-ზე. კონსტრუქციის თავისებურება მდგომარეობს იმაში, რომ ჭიახ-

რახნული თვალის სადგარზე ჩადგმულია დამცავი ქურო, რომელიც საშუალებას იძლევა, შეზღუდოს განვითარებული მახრუნებელი მომენტი.



ნახ. 3.2. ა) ჭიახრახნული მოტო-რედუქტორის საერთო ხედი:

ბ) დასმული მოტო-რედუქტორის საერთო ხედი

მოცემული მოტო-რედუქტორის ძირითადი ტექნიკური მახასიათებლებია:

1) ელძრავის სიმძლავრე - 0,27 კვტ.

2) გამომავალი ლილვის ნომინალური ბრუნვის სიჩქარე - 0,28 წმ,

3) მაქსიმალური მომენტი გამომავალ ლილვზე - 50 წმ; 4) რედუქტორის გადაცემის რიცხვი-86.

4) მოდულის გაბარიტული ზომები 500X255 X 245 მმ.

5) მოდულის მასა - 35 კგ.

ნახ.3.2 ბ-ზე ნაჩვენებია „ბაუერის“ ფირმის მოტო-რედუქტორი, რომელიც უშუალოდ უერთდება წამყვანი მექანიკური მოწყობილობის ლილვს და ამიტომაც არის სწრაფად მოხსნადი მოდული. კონსტრუირების ბლოკურ-მოდულური პრინციპი იძლევა საშუალებას მოდულში კომბინირებული იქნას სხვადასხვა სიმძლავრის, დანიშნულების და ტიპის ძრავები თუ რედუქტორები. ამგვარადაა უზრუნველყოფილი მოდულის მექანიკური მახასიათებლების ფართო სპექტრი: ბრუნვის სიხშირე - 0,2 დან 160 ბრ/წთ. სიმძლავრე - 0,015-დან 75 კვტ-მდე. შეფასებითმა ანალიზმა, რომელიც გაკეთდა „ბაუერის“ ფირმის მიერ, აჩვენა რომ ასეთი მოტო-რედუქტორის გამოყენება რენტაბელურია მანქანებში მუშა ორგანოს დაბალი სიჩქარით გადაადგილების დროს, 500 ბრ/წთ. ბრუნვით სიხშირემდე. ამგვარად, მომხმარებელი იძენს და ექსპლოატაციას უწევს მოტო-რედუქტორს, როგორც ერთიან მოდულს, კბილანა გადაცემების

არსებობას, მოდულის (შიგნით), შემადგენლობაში ხვდება ან დასახელებიდან (პასპორტული მონაცემებით) ან ზეთის შეცვლის დროს.

### 3.2. ბრუნვითი მოძრაობის მექატრონული მოდულები

#### მაღალმომენტიანი ძრავების ბაზაზე

ამძრავების ტექნიკური განვითარების შემდეგ ნაბიჯს წარმოადგენს ბრუნვითი მოძრაობის მაღალმომენტიანი ძრავების გამოჩენა, რომელთა გამოყენებამ შესაძლებელი გახადა მუდმივი დენის ელექტროამძრავების შემადგენლობიდან მექანიკური რედუქტორის გამორიცხვა, რომლებიც დაბალ სიჩქარეზე მუშაობდა.

მაღალმომენტიანები ეწოდებათ დენის ძრავებს, რომლებიც აღიძვრება მუდმივი მაგნიტისაგან და მათ ხვიების ელექტრონული კომუტაცია აქვთ, რომლებიც მომენტის მიხედვით მრავალჯერადი გადახვევის საშუალებას იძლევა. მრავალმომენტიანი ძრავების ვენტილურ როტორზე, პოლუსების მდებარეობის განსაზღვრისათვის აყენებენ დამატებით ტექნიკურ საშუალებას (მაგალითად, გადამწოდებს, ინდუქციურ და ფოტოელექტრონულ და სხვა საზომებს) მაღალმომენტიანი ძრავები კარგად მუშაობს 0,1-1 ბრ/წთ ბრუნვით სიხშირეზე და ძირითადად ტიპური ლითონსაჭრელი ჩარხებისათვის და საწარმოო რობოტებისათვის გამოიყენება.

მაღალმომენტიანი ძრავების ძირითადი უპირატესობაა:

- ამძრავში რედუქტორის არარსებობა;
- მასალის შემცველობის შემცირება, კომპაქტურობა და კონსტრუქციის მოდულობა;
- ღრეჩობის არსებობის საფუძველზე, ამძრავის სიზუსტის მახასიათებლების ამაღლება,
- მექანიკურ ტრანსმისიაში, ხახუნის გამორიცხვა, რაც საშუალებას იძლევა, მცოცავ სიჩქარეებზე საგრძნობლად შემცირდეს პოზიციონირების ცდომილებები და არაწრფივი დინამიკური ეფექტი.
- რეზონანსული სიხშირეების ამაღლება.

დღეისათვის სამომხმარებლო ბაზარზე იწარმოება კოლექტორული და ვენტილური ტიპის მაღალმომენტიანი ძრავები.

კოლექტორთან შედარებით ვენტილური ძრავების ძირითადი უპირატესობებია:

– მაღალი საიმედოობა, მუშაობის ხანგრძლივობა, მომსახურებაზე მინიმალური დანახარჯები;

– გაუმჯობესებული სითბური მახასიათებლები (რადგან სითბო იფანტება სტატორის ხვებზე, ხოლო სითბოს გამომყოფი ელემენტები როტორზე არ არსებობს, რის გამოც მცირე კვეთის მავთულების გამოყენებაა შესაძლებელი);

– მყისიერი სწრაფქმედება როტორის მიერ განვითარებული მომენტისა და როტორის ინერციის მომენტის ერთმანეთთან მაღალი შეფარდების ხარჯზე მომენტი/ინერციის მომენტი);

– სიჩქარის რეგულირების ფართო დიაპაზონი;

– მომენტის მიხედვით დიდი გადატვირთვის შესაძლებლობა  $M_{\max}/M_{\text{nom}} = 8/10$ ;

– ხაზოვანთან მიახლოებული მექანიკური და მარეგულირებელი მახასიათებლები.

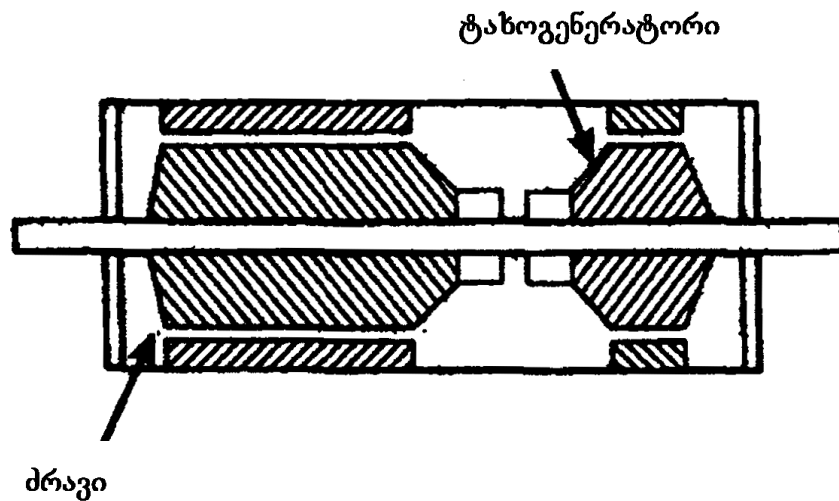
სინქრონული ძრავებისაგან განსხვავებით, ვენტილური მაღალმომენტიანი ძრავები უკუკავშირის საშუალებით შესაძლებლობას იძლევა რათა დარეგულირებულ იქნას ბრუნვის სიჩქარე. ბრუნვის სიხშირე დამოკიდებული არაა კვების ძაბვაზე, რის გამოც არ არის სინქრონულობიდან ამოვარდნის საშიშროება.

ვენტელაურ ძრავების ძირითადი ნაკლია მაგნიტებისა და ხვეულების კომუტაციების მართვის ბლოკის სიძვირე, აქედან გამომდინარე, არის დაბალი სიმძლავრე/ფასთან მაჩვენებელი და მომატებულია გაბარიტული ზომები. თანამედროვე მოდიფიკაციებში ამ ბლოკის აწყობის პრობლემა იხსნება იაფფასიანი მიკროსქემების გამოყენების ბაზაზე.

ცხრ. 2-ში მოცემულია ზოგიერთი ძრავის ტექნიკური მახასიათებელი.

თანამედროვე მექატრონული მოძრაობის მოდულების შემადგენლობაში შედიან უკუკავშირის აღმრიცხველები და აგრეთვე მართვადი მუხრუჭები, ასეთი სისტემები მიეკუთვნება მეორე თაობის მექატრონულ მოდელებს (იხ. ნახ. 3.1), გადამწოდებად ასეთ მოდულებში უმეტესად გამოიყენება ფოტოიმიპულსური გადამწოდები (ინკოდერები), ტაქოგენერატორები, რევოლვერები და კოდირებული მდებარეობის გადამწოდები. პრინციპულად მნიშვნელოვანია, რომ მოდულს „ძრავი-გადამწოდი“ აქვს ერთიანი ლილვი, რაც საშუალებას იძლევა, შეთავსებელი იქნას მაღალი ტექნიკური მონაცემები და დაბალი ფასი. კონსტრუქციული სქემა „მუდმივი დენის ძრავი-მიერთებული (ჩადგმული, ჩამონტაჟებული) ტაქოგენერატორი“ მოცემულია ნახ. 3.3-ზე.

პირობითი აღნიშვნა	სტატორის შიგა დიამეტრი, მმ	როტორის დიამეტრი, მმ	ღერძის სიგრძე, მმ	წყვილი პოლუსების რაოდენობა	ბრუნვის სიხშირე, უკმ სვლა, წთ <sup>-1</sup>	მომენტი გაშვების დროს, ნმ
უკონტაქტო ძრავი 40-0,01-2,5-3	40	12	26	4	3900-5400	0,02
უკონტაქტო ძრავი 63-0,06-3-2	63	28	28	8	2700-3400	0,11
უკონტაქტო ძრავი 105-0,4-0,75-3	105	60	37	8	720-1000	0,25

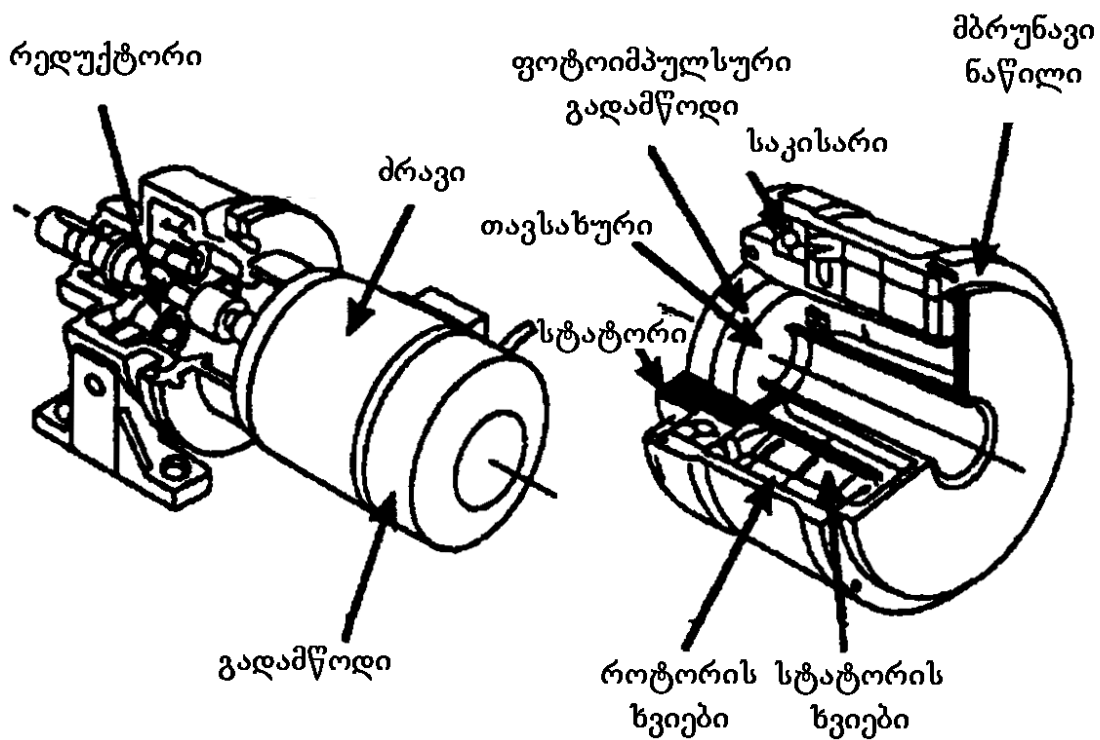


ნახ. 3.3. მექატრონული მოდული  
(ძრავი - ტანოგენერატორი)

3.4 ნახ-ზე, ნაჩვენებია მექატრონული მოდულის კონსტრუქცია, რომელიც შემუშავებულია ფირმა „პარკერის“ მიერ მაღალმომენტური ძრავის ბაზაზე. მოდულის შემადგენლობაში შედის: ძრავის როტორი, ძრავის სტატორი, საკისარი და

ფოტოიმპულსური გადამწოდი. კონსტრუქციაში მბრუნავი არის მოდულის გარეთა ნაწილი, რომელიც ბაზირებულია საყრდენ-საკისრებზე. მოდულების კომპლექტაციაში აგრეთვე შედის ელექტრული კაბელიც. მოდული „Dynasery Motor“-ის ტექნიკური მახასიათებლებია:

- მოდულის გაბარიტული ზომები
- სიგრძე - 295მმ; დიამეტრი 150-დან 250 მმ-მდე;
- მოდულის მასა 5,5დან 2,9მდე;
- პოზირების სიზუსტე - 0,0069 გრად;
- ელექტროკვება - 115 ვტ ან 230 ვტ (ერთფაზიანი);
- მაქსიმალური მომენტი - 200 ნ.მ;
- ნომინალური სიჩქარე -1 რად/ წმ-მდე.



ნახ. 3.4. Dynasery Motor-ის მექატრონული მოდული

პერსპექტიულად ითვლება აგრეთვე სიჩქარისა და მდებარეობის გადამწოდები, რომლებიც მოქმედებს ძრავის ლილვთან მექანიკური შეერთების გარეშე. 1997–99 წლებში. შექმნილია ბრუნვითი მოძრაობის დაბალბრუნვადი მოდულები, რომელთა



მომენტი 2500ნმ-მდეა და მაქსიმალური სიჩქარე 800ბრ/წთ. აღნიშნული მოდულები გამოიყენება ჩარხების მბრუნავი მაგიდებისათვის, საზომი მანქანების და რობოტებისათვის, ასევე სხვადასხვა დანიშნულების ინსტრუმენტული თავებისათვის. ასევე შესაძლებელია მოცემული ტიპის მოდულები შეიძლება გამოყენებული იქნას არატრადიციული სატრანსპორტო საშუალებებში, ელექტრომობილებში, ელექტროველოსიპედებში, ინვალიდის ეტლებში, ფეხით სარბენ ელექტროტრენაჟორებში და სხვა.

### 3.3 წრფივი მოძრაობის მექატრონული მოდულები

მექატრონულ მიდგამს მაღალმომენტიანი ძრავების ბაზაზე, ბრუნვითი მოძრაობის მექატრონული მოდულების აგებამ, რომელიც 3.2 პარაგრაფშია განხილული, ბოლო წლებში განვითარება პოვა წრფივი გადაადგილების მოდულებშიც. პროექტირების მიზანი ანალოგიურია; მოძრაობის მექატრონული მოდულების შემადგენლობიდან მექანიკური გადაცემის გამორიცხვა.

მოძრაობის მექატრონული მოდულები, ხაზოვანი მაღალმომენტიანი ძრავის საფუძველზე უფრო და უფრო ფართო გამოყენებას პოულობენ ჰექსაპოდებში. მაღალსიჩქარიან ჩარხებში, ლაზერული და წყლის ჭავლით ჭრის კომპლექსებში, დამხმარე მოწყობილობებში (ჯვარედინა მაგიდებში, ტრანსპორტიორებში) და სხვ.

ტრადიციული წრფივი მოძრაობების ელექტროამძრავები შეიცავს ბრუნვითი მოძრაობის ძრავსა და მექანიკურ გადაცემას, რომელიც ბრუნვითი მოძრაობას გარდაქმნის წინსვლით მოძრაობად. (კბილანა ლარტყა, ბურთულა-ხრახნული და ლენტური გადაცემა და სხვ.)

80-იანი წლების დასაწყისში შექმნილ ხაზოვან ძრავებს, დაბალი კუთრი ძალური მახასიათებლების გამო გამოყენების შეზღუდული სივრცე ჰქონდათ, რის გამოც ავტომატიზებულ მოწყობილობებში არ გამოიყენებოდა. ტრადიციულ ხაზოვან ამძრავებთან შედარებით წრფივი მაღალმომენტიანი ძრავების ბაზაზე შექმნილი მოდულების ძირითადი უპირატესობებია:

- მოძრაობის სიჩქარის რამოდენიმეჯერ მომატება (150-210მ/წთ);
- მოძრაობის რეალიზაციის მაღალი სიზუსტე;
- მაღალი სტატიკური და დინამიკური სიხისტე.

ამასთან ერთად არსებობს რიგი პრობლემა ხაზოვანი მაღალმომენტიანი ძრავების დაპროექტებასა და დანერგვაში: შედარებით მაღალი ღირებულება; მექატონური მოდულის გაცივების სისტემის აუცილებლობა (სითხით ან ჰაერით); მოდულის შედარებით დაბალი მქკ.

მაგალითისათვის განვიხილოთ ხაზოვანი მაღალმომენტიანი ძრავის ტენიკური მახასიათებლები, რომლიც გამოშვებულია ფირმა Krauss Maffei Limes TS-ის მიერ 1997 წ, სპეციალური გამაცივებით:

- მაქსიმალური ძალა - 1720-დან 14500 ნიუტონამდე;
- მაქსიმალური სიჩქარე - 3,5მ/წმ-მდე.
- მოდულის მასა 13,1-დან 132,9კგ-მდე.

დღეისათვის შექმნილია წრფივი მოძრაობის მოდულები 2000ნ-მდე ძალის გადაადგილების სიჩქარით 3მ/წმ-მდე და აჩქარებით 2გ-მდე, რომლებიც ორიენტირებული არიან ლიტონსაჭრელ ჩარხებზე, საწარმოო რობოტებზე, გაზსადენებისა და ნავთობსადენების ჩამკეტ მოწყობილობებზე გამოსაყენებლად.

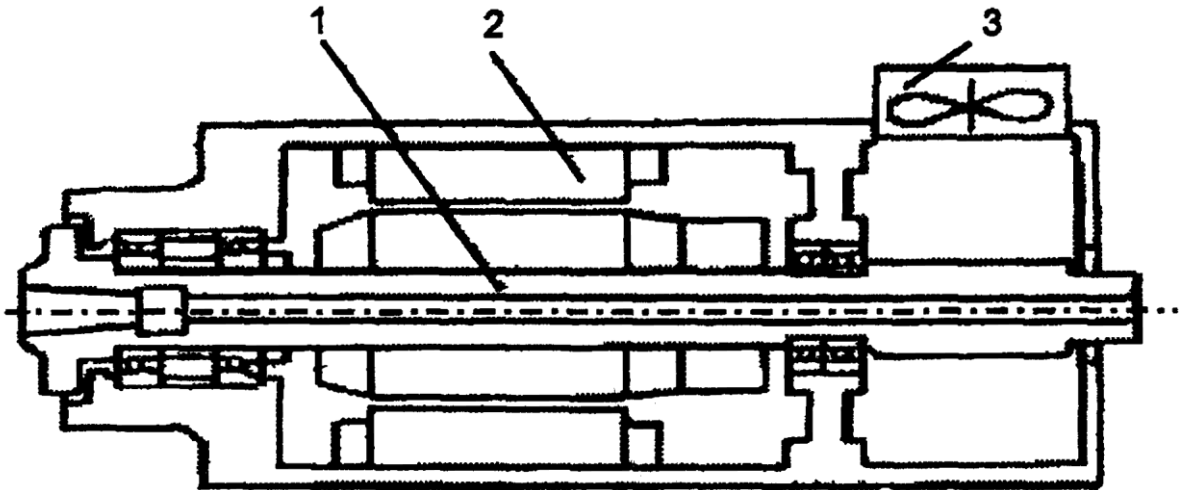
### 3.4 „ძრავი-მუშა ორგანო“ ტიპის მექატონური მოდულები

მექატონური მოდულების განვითარების ერთ-ერთ ძირითად ეტაპად იქცა „ძრავი-მუშა ორგანოს“ ტიპის მოდულების შემუშავება. ასეთ კონსტრუქციულ მოდულებს აქვთ განსაკუთრებული მნიშვნელობა ტექნოლოგიურ მექატონულ სისტემებში, რომელთა მოძრაობის მიზანი არის მუშა ორგანოს მიზანმიმართული ზემოქმედება სამუშაო ობიექტზე.

შედარებით დაბალი მგრები მომენტის და პატარა გაბარიტების მქონე სახარატო, კონსოლური საფრეზი დამაღალსიჩქარიანი საფრეზ ჩარხებში გამოიყენება ე. წ. „ძრავი-შპინდელები.“ ძირითადი კონსტრუქციული განსხვავება ასეთ ელექტრომექანიკურ კვანძსა და მთავარი მოძრაობის ამძრავებს შორის არის შპინდელის მონტაჟი ძრავის როტორზე.

3.5 ნახ.-ზე მოყვანილია „ძრავის-შპინდელის“ მოდულის კონსტრუქცია, რომელიც ერთერთი პირველი საწარმოო მოდელი იყო, და დამზადებულია ფირმა „FANUC“-ის მიერ, მას აქვს შემდეგი ძირითადი ტექნიკური მახასიათებლები: გაბარიტები

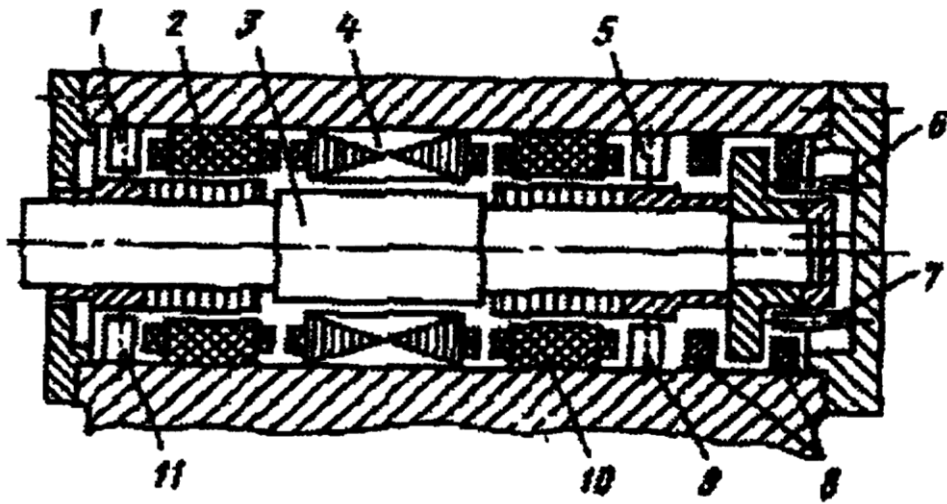
784x338x430მმ, სიმძლავრე 5.5 კვტ, ნომინალური 750ბრ/წთ, მაქსიმალური სიჩქარე - 4500ბრ/წთ, ნომინალური მომენტი 70ნმ შპინდელის კვანძებში მექანიკური საკისრების გამოყენებამ განსაზღვრა, მათი შეზღუდული ფუნქციური შესაძლებლობები. მაგალითად, მაღალი ბრუნვის სიჩქარეების დროს მუშაობის არასაკმარისი რესურსი, ხახუნის წყვილების შეზეთვის აუცილებლობა და ჰერმეტიზაციის პრობლემა.



ნახ.3.5. მექატრონული მოდული „ძრავი-შპინდელი“:

1 შპინდელი, 2 სტატორი, 3 ვენტილატორი

მაღალი წარმადობის ჩარხზე, ჭრის რეჟიმების რეალიზაციისათვის შემუშავებულია შპინდელის კვანძები ელექტრომაგნიტურ საყრდენებზე, რომლებიც უზრუნველყოფს ბრუნვის სიჩქარის 200000 ბრ/წთ-მდე გაზრდის. ნახ.3.6. ასინქრონული ძრავის როტორის ბრუნვის სიხშირე რეგულირდება სტატორზე მკვებავი ძაბვის სიხშირის ცვლილებით. მოდულს აქვს ოთხი საყრდენი, ორი რადიალური და ორი ღერძული. მოცემული მექატრონული მოდულის დამატებით ელექტრონულ ელემენტს წარმოადგენს როტორის ღერძის მდებარეობის სტაბილიზაციის სისტემა (7). ამგზნები ძალების ზემოქმედების დროს ხდება როტორის მდებარეობიდან გადახრები, რომლებიც იზომება შესაბამისი ინფორმაციის ღერძული და რადიალური გადამწოდებით. რთული პროფილის დეტალების დამუშავების დროს კომპიუტერული მართვის მოწყობილობა, ავტომატურად არეგულირებს დენის ძალას ელექტრომაგნიტების ამგზნებ ხვებში, იჭერს როტორის ღერძის მოცემულ მდებარეობას ან ცვლის მას სასურველი კანონით.



ნახ. 3.6. შპინდელური კვანძი ელექტრომაგნიტურ საყრდენებზე

- 1, 5, 9, 11 - ინფორმაციის რადიალური „დაჩიკები“ (სენსორები);
- 6, 7 - ინფორმაციის დერბული სენსორები;
- 4 - ასინქრონული ძრავის სტატორი;
- 2, 10 - რადიალური ელექტრომაგნიტური საყრდენები;
- 8 - დერბული ელექტრომაგნიტური საყრდენი

მაღალი სიჩქარეებზე ხანგრძლივი სამუშაო რეჟიმით, ასეთი ძრავი-შპინდელები ელექტრომაგნიტურ ხვებზე საჭიროებს ინტენსიურ გაცივებას, რაც მწარმოებლებისათვის მისაღები არ არის.

დღეისათვის უკვე შექმნილია მაღალი ბრუნვის „ძრავ-შპინდელები“, რომელთა ბრუნვის მაქსიმალური სიჩქარე 250000ბრ/წთ და სიმძლავრე 60 კვტ-მდეა, ისინი ფართოდ გამოიყენება ლითონსაჭრელი ჩარხებისათვის, ხის დამამუშავებელი მანქანებისათვის და ნაბეჭდი ფილების დასამუშავებელი ჩარხებისათვის.

„ძრავი-მუშა ორგანოს“ ტიპის მოდულებმა ასევე ფართო გამოყენება პოვა სხვადასხვა სახის თვითმავალი საშუალებების ელექტროამძრავებში. მაგალითად, ელექტროველოსიპედებში, ელექტრომობილებში, მობილურ და თვითმავალ რობოტებში და სხვ. სავარძელი-ურიკას გამწვევი ამძრავის შექმნის დროს გამოყენებულ იქნა უკოლექტრო მაღალმომენტიანი ძრავი, მუდმივ მაგნიტებზე ამგზნებით, რომლებიც ჩადგმულია წამყვან თვალში. საშუალოდ მექანიკური რედუქტორის გარეშე შექმნილმა მოდულებმა მიიღო დასახელება „ძრავი-ბორბალი“. ასეთი ტიპის მოდულების

გამოყენებით შესაძლებელი გახდა შემცირებულიყო ნაკეთობის დამზადებისათვის საჭირო დრო და მასალა, უზრუნველყოფილიყო გადაადგილების უხმაურობა, შემცირებულიყო გაბარიტები და გამოთავისუფლებულიყო სივრცე კვების წყაროს განსათავსებლად. აღნიშნული ამძრავი უზრუნველყოფს სავარძელი-ურიკას მოძრაობას 6კმ/სთ სიჩქარით 150კგ. საერთო მასის დროს.

### 3.5. მოძრაობის ინტელექტუალური მექატრონული მოდელები

მექატრონული მოდელების განვითარების ძირითად უპირატესობას წარმოადგენს მათი ფუნქციური მოძრაობის მართვის პროცესების ინტელექტუალიზაცია. შინაარსობრივად ლაპარაკია პრინციპულად ახალი ტიპის მოდულების შემუშავებაზე, რომლებშიც შესაძლებელია ყველა სამი კომპონენტის ელექტრომექანიკურის, ელექტრონულისა და კომპიუტერულის ინტეგრაცია ინტელექტუალური მექატრონული მოდულების ტექნიკური რეალიზაცია შესაძლებელი გახდა ბოლო წლებში მიკროპროცესორული სისტემების სწრაფი განვითარების ხარჯზე, რომლებიც ორიენტირებული არიან მოძრაობების სათანადოდ მართვისაკენ. საწარმოო ტექნოლოგიების მუდმივი სრულყოფა იწვევს გამოშვებული ”მოაზროვნე აპარატების ღირებულების საგრძნობ შემცირებას, რის გამოც ეს სისტემები გახდეს რენტაბელური და დღეისათვის უდიდესი პრაქტიკული გამოყენება პოვის.

განვიხილოთ ერთკოორდინატიანი მოდულის ზოგადი სტრუქტურა, რომელიც წარმოდგენილია ნახ. 2.2–ზე, მის კომპიუტერული მართვის მოწყობილობას აქვს ორი შესასვლელი ინფორმაციული არხი: ინტერფეისი O1 აკავშირებს მას მართვის ზედა დონესთან, ხოლო ინტერფეისი O4 სენსორებით და ერთი გამომავალი არხით ინტერფეისი O2–თან, რომლის გავლითაც შესრულებულ ამძრავზე გამოდის მმართველი ბრძანებები. შესაბამისად შეიძლება გამოიყოს მოძრაობის მექატრონული მოდულების ინტელექტუალიზაციის სამი მიმართულება, რომლებიც კლასიფიცირდება ინტეგრაციის ინტერფეისულ წერტილებზე დამოკიდებულებით:

1) ინტეგრირებული ინტერფეისების განვითარება, რომლებიც აკავშირებს მმართველ კონტროლიორს ზედა დონის კომპიუტერთან როგორც ერთიან აპარატულ პროგრამულ მმართველ კომპლექსს (ინტერფეისი ი2).

2) მართვის ინტელექტუალური ძალური მოდულების შექმნა მმართველი კონტროლიორებისა და ძალური გარდამქმნელების ინტეგრაციის გზით (ინტერფეისი ი2).

3) მექატრონული მოდულების ინტელექტუალური სენსორების შემუშავება, რომლებიც ჩვეულებრივი მზომი ფუნქციების გარდა დამატებით აწარმოებს სიგნალების გარდაქმნას და კომპიუტერულ დამუშავებას, მოქნილი პროგრამების მეშვეობით (ინტერფეისი ი3). განვიხილოთ კომპიუტერული მართვის მოწყობილობის ტექნიკური რეალიზაციის ტენდენციები და საშუალებები თანამედროვე მექატრონულ მოდულებში.

### 3.5.1. მოძრაობის კონტროლიორები (მონიტორინგი)

აღნიშნული მიმართულებებიდან პირველი და უმთავრესია ახალი თაობის კომპიუტერული მოწყობილობების შექმნა, რომლებიც საშუალებას აძლევს მომხმარებელს მოქნილად და სწრაფად ამოხსნას მოდულის მოძრაობის მართვის ამოცანები. მექატრონული სისტემების მართვის ამოცანა შეიძლება დაიყოს ორ ძირითად ნაწილად:

1) მოძრაობის დაგეგმარება; 2) მისი შესრულება დროში. მოძრაობის დაგეგმარების ამოცანას და პროგრამის მართვის ავტომატიზებულ ფორმებს წყვეტს ზედა დონის კომპიუტერი, რომელიც ბრძანებას იღებს ადამიანი-ოპერატორისაგან, ხოლო მმართველი სიგნალების გამოთვლისა და გაცემის ფუნქციას, უშუალოდ შემსრულებელ ამპრაფზე ასრულებს მოძრაობის კონტროლიორი. ამრიგად, კონტროლიორისა და კომპიუტერის შეთანაწყობა კომპიუტერული მართვის მოწყობილობის არქიტექტურაში, კონსტრუქციულად გამართლებულია მართვის ამოცანების გადაწინააღმდეგობისათვის. მართვის სისტემის იერარქიულ სტრუქტურაში თითოეული ჩამოთვლილი ეტაპებს შეესაბამება განსაზღვრული დონეები, რომლებიც განხილულია მე-5 თავში, ხოლო მოცემულ თავში განვიხილოთ იმ კომპიუტერული მართვის მოწყობილობების ვარიანტები, რომლებიც გამოიყენება მექატრონიკაში.

მხოლოდ უმარტივეს მოდულებში არც თუ ისე ხშირად გამოიყენება სეპარატული კონტროლიორები, რომლებიც მისაღები არიან მომხმარებლისათვის თავიანთი შედარებით სიიაფის გამო. ასეთი, კონტროლიორის ფუნქციები ხშირად შემოიფარგლება ერთი (მაღზე იშვიათად ორი) კოორდინატის გასწვრივ მარტივი მექანიკური მოძრაობის ამოცანით. უფრო რთული მმართველ სტრუქტურებში ჩასართავად ზოგიერთ მოდიფიკაციებს აქვთ სტანდარტული ინტერფეისი, მაგრამ ოპერატორის მიერ დაბალი დონის (ბეისიკის) ენაზე პროგრამირების აუცილებლობა, არხების მცირე რაოდენობა და მახსოვრობის შეზღუდული მოცულობა ხდის ამ ტიპის კონტროლიორებს არაპერსპექტიულს, მრავალკოორდინატიანი მექატრონული სისტემების ინტელექტუალური მეთოდებით მართვისათვის.

თანამედროვე კონტროლიორები ჩვეულებრივ ახდენენ მართვის რეალიზებას უკუკავშირის მდებარეობის მიხედვით ან მართული მექანიკური ობიექტის სიჩქარით, ე. ი. მართვის მექატრონული სისტემა არის ჩაკეტილი შემსრულებელ დონეზე. გახსნილი მართვის პრინციპი, დღეისათვის გამოიყენება მხოლოდ ბიჯური ძრავების მართვის სისტემებში. მაგალითად. გრაფამგებებში, პლოტერებში, მოსაბრუნებელ მაგიდებსა და სხვა დანადგარებში, რომლებიც არ განიცდის მნიშვნელოვან აღმგზნებ ზემოქმედებას. ავტომატიზებული მანქანათმშენებლობის მოწყობილობებში (ლითონსაჭრელ ჩარხებსა ტექნოლოგიურ რობოტებში და სხვ.). მოძრაობის საჭირო სიზუსტის უზრუნველყოფა შეიძლება მხოლოდ მართვის ჩაკეტილი სისტემების გამოყენებით. გარე მოწყობილობებთან დასაკავშირებლად ფუნქციური მოძრაობების რეალიზაციისათვის

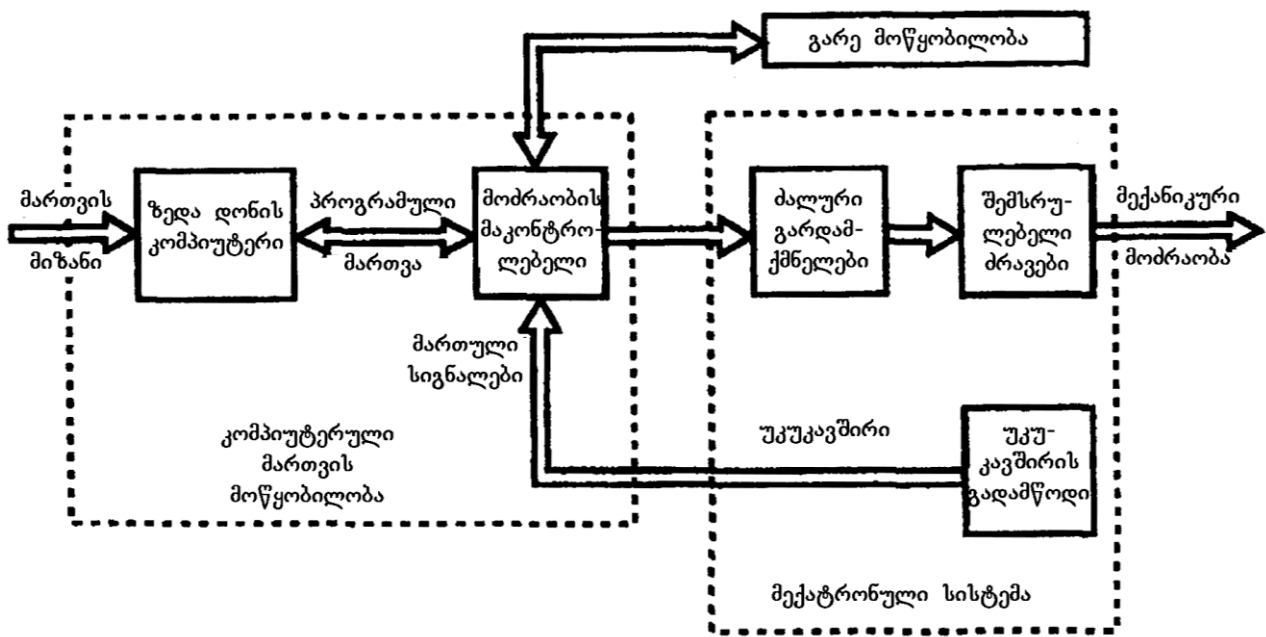
კონტროლიორებს აქვთ დამატებითი შესასვლელ-გამოსასვლელები (ნახ. 3.7). როგორც წესი ეს სიგნალებია, ფორმით (I/0). აქ საჭიროა ყურადღება მიექცეს ავტომატურ სისტემებში, პროგრამული ლოგიკური კონტროლიორების ფართო გამოყენებას. პროგრამული ლოგიკური კონტროლიორების მთავარი ამოცანაა ეფექტური ოპერაციები აუცილებლად დისკრეტული ინფორმაციით. ამიტომაც პროგრამული ლოგიკური კონტროლიორების ბაზაზე შექმნილი მექატრონული მოდულების მოძრაობის მართვის სისტემებისა და მით უმეტეს მექატრონული სისტემების აგება ლოგიკურად არამიზანშეწონილია, მაგრამ ამასთან ერთად შესაძლებელია ინფორმაციის გაცვლა მოძრაობის მართვის და პროგრამულ ლოგიკურ კონტროლიორებს შორის, შესასვლელ/გამოსასვლელი დისკრეტული ბლოკების გავლით. დღეისათვის ძალური გარდამქმნელისათვის უმეტესად გავრცელებულია კონტროლიორის მიერ ფორმირებული მმართველი სიგნალების ფორმირების ორი მეთოდი:

– ანალოგიური მმართველი სიგნალი;

– მოდულირებული მმართველი სიგნალი.

ანალოგიური მმართველი სიგნალების ფორმირებისათვის აუცილებელია ციფრული ანალოგიური გარდამქმნელი, რომელიც იძლევა ელექტრულ ძაბვას (ძირითადად  $-10\text{ვ}$ -დან  $+10\text{ვ}$ -მდე მუდმივი დენის). ენერგეტიკული თვალსაზრისით სასარგებლოდ ითვლება გარდამქმნელის ძალური გასაღების, განედურ-იმპულსური მართვის მეთოდი.





ნახ. 3.7. ფუნქციური მოძრაობების მართვის სისტემის სტრუქტურა

**მინიშნება.** კონტროლიორების ტექნიკურ აღწერილობაში გადაადგილებების სიდიდეებს ჩვეულებრივ აქვთ განზომილებები [იმპ] (STEPS ან Counts), ხოლო სიჩქარეებს შესაბამისად [იმპ/წმ] (STEPS/Sec ან Counts/Sec). მოცემული მნიშვნელობები საჭიროა იმისათვის, რომ განისაზღვროს კონტროლიორის საკუთარი შესაძლებლობები უკუკავშირის გადამწმების პარამეტრების აღრიცხვის გარეშე. მოძრაობის პარამეტრების განსაზღვრისათვის, ერთეულთა სისტემაში საჭიროა, გაიყოს მოცემული რიცხვები, გადამწმების შემდეგ შერჩეულ კოეფიციენტებად. ვიგულისხმობთ, რომ სტანდარტული კუთხური ფოტოიმიპულსურ გადამწოდს (ინკოდერი) აქვს კოეფიციენტი 5000 იმპ/ბრ, ხოლო შერჩეული რევოლვერ-კოეფიციენტის 65000იმპ/ბრ. მაშინ კონტროლიორის პასპორტული მახასიათებელი 1000000 იმპ/წმ დროს ვიღებთ ძრავის ბრუნვის მაქსიმალურ სიჩქარეს 200ბრ/წმ. ინკოდერის გამოყენებისას და 15.38ბრ/წმ რეზოლვერის დაყენებისას.

ინტელექტუალური მექატრონული მოდულის შექმნის დროს შესაძლებელია მართვის კომპიუტერულ მოწყობილობის აპარატული არქიტექტორის ორი ბაზური ვარიანტი;

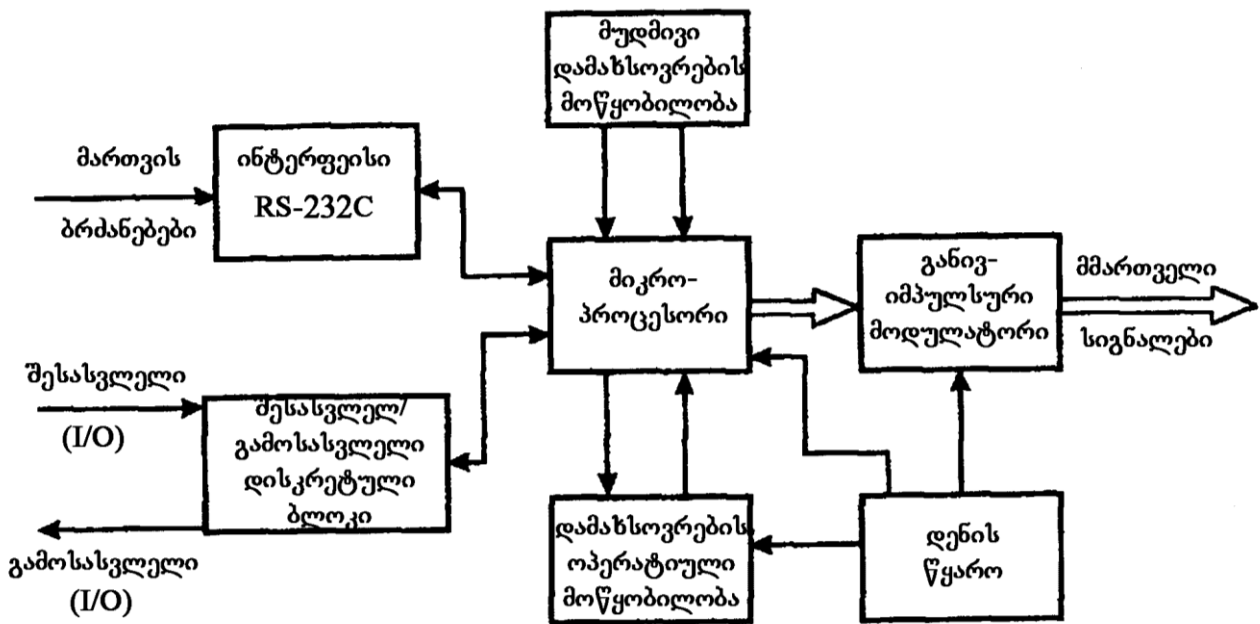
–ზედა დონის კომპიუტერისა და მოძრაობის კონტროლიორის გამოყენება, როგორც ცალკეული მოწყობილობებისა, რომლებიც შეერთებულია სტანდარტული

ინტერფეისით (ამ შემთხვევაში კონტროლიორი წარმოადგენს გარე ბლოკს კომპიუტერთან მიმართებით).

– მონობლოკური სტრუქტურა, ეს ის ვარიანტია, როცა კონტროლიორი აპარატულად ყენდება კომპიუტერის შიგნით (ჩასადგმელი კონტროლიორი). მოცემული აპარატულ სისტემებს აქვთ განსაზღვრული უპირატესი გამოყენების სხვადასხვა სფერო. „გარეთა კონტროლიორის“ ტიპის არქიტექტურა მიზანშეწონილია გამოყენებულ იქნეს დიდ მექატრონულ სისტემებში, რომლებიც შედგება რამდენიმე მრავალკოორდინატული მართული მანქანისაგან (ჩარხებისაგან, რობოტებისაგან, დამხმარე მოწყობილობებისაგან). ასეთ სისტემებში კომპიუტერი ასრულებს სერვერის ფუნქციებს, რომელიც როგორც მოძრაობის დაგეგმარების ამოცანებს წყვეტს, აგრეთვე დისპეტჩერისა და მართვის კომპლექსის ყველა კონტროლიორის სამუშაოს. არქიტექტურა „ჩასადგმელი კონტროლიორების“ ბაზაზე ორიენტირებულია რამდენიმე მექატრონული მოდულის მოძრაობის მართვის ამოცანებზე, რომლებიც შედის, როგორც წესია ერთი მექატრონული სისტემის შემადგენლობაში.

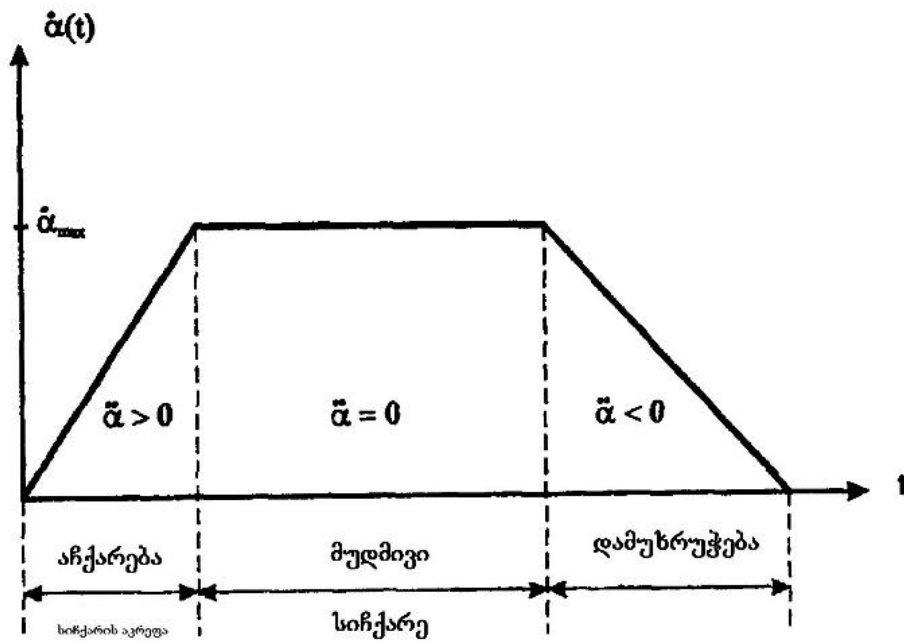
მართვის კომპიუტერული მოწყობილობის ბლოკ-სქემა გარე მოძრაობის კონტროლიორით ნაჩვენებია ნახ. 3.8-ზე. მართვის მოქნილობის უზრუნველყოფა ხდება მიკროპროცესორის გამოყენებით, შესრულებული მართვის პროგრამა ინახება ოპერატიულ დამახსოვრებელ მოწყობილობაში. გამოყენებითი პროგრამების პაკეტების მემვეობით ფუნქციური მოძრაობების პლანირება ხორციელდება ოპერატორით ზემოდონის კომპიუტერზე. კომპიუტერი კონტროლიორისათვის აგრეთვე ასრულებს ბრძანებების ავტომატურ გენერაციას, რომლებიც შესასრულებლად მიეწოდება სტანდარტული ინტერფეისიდან (მაგალითად, RS-232C-დან). ეს ბრძანებები იძლევა ცვლილებების სასურველ კანონებს, როგორც დროში მდებარეობის, ისე შემსრულებელი ძრავის ლილვის სიჩქარისა და აჩქარების მიხედვით. სიჩქარის ცვლილების ტრაპეციალური კანონი წარმოადგენს მოძრაობის კანონს, რომელიც შეიცავს გაქანების, მუდმივი სიჩქარით გადაადგილებისა და მოცემული აჩქარებით დამუხრუჭების უბნებს (ნახ. 3.8, ბ). მაგალითისათვის განვიხილოთ მართვის კომპიუტერული მოწყობილობა გარე კონტროლიორით COMPUMOTOR Plus (სერია X), რომელიც წარმოებულია ფირმა Parker-ის (USA) მიერ. აღნიშნული მართვის კომპიუტერული მოწყობილობა განკუთვნილია ერთკოორდინატიანი მექატრონული მოდულების მართვისათვის და მოწყობილობის შემადგენლობაში შედის.

- მოძრაობის მართვის კონტროლიორი, რომელიც რეალიზებას უკეთებს ციფრული ალგორითმის მომწესრიგებელს. (მოწესრიგების კოეფიციენტები შეიძლება შეიცვალოს გარე კომპიუტერის ბრძანებებით);
  - ციფრული-ანალოგიური გარდამქმნელი;
  - მუდმივი დამახსოვრებლის მოწყობილობა, რომელიც მოძრაობას მართავს 40 პროგრამაზე;
  - დისკრეტულად პროგრამირებადი შესავალ/გამოსავალი ბლოკი (3 შესავალი, 2 გამოსავალი);
  - სტანდარტული ინტერფეისი RS-232C ზედა დონის კომპიუტერთან კავშირისათვის;
  - ინტერფეისი, რეზოლვერიდან გამომავალი ციფრული ფორმის სიგნალის გარდასაქმნელად;
  - ოპერატორის პანელი(მონიტორი და დილაკის პულტი).



ა) მოძრაობის მაკონტროლებლის ბლოკ-სქემა:

- მუდმივი დამახსოვრების მოწყობილობა;
- დამახსოვრების ოპერატიული მოწყობილობა;
- განივ იმპულსური მოდულატორი;
- დენის წყარო.



### ბ) მოძრაობის ტიპური კანონი

#### ნახ. 3.8. კომპიუტერული მართვის მოწყობილობა მოძრაობის გარემაკონტროლებლით

მართვადი მოძრაობის მოწყობილობის ძირითადი ტექნიკური მახასიათებლებია:

- სიჩქარის დიაპაზონი 0,0001–50 ბრ/წმ;
- გადაადგილების დიაპაზონი 0–327679999 იმპ;
- პოზიციური შეცდომა არა უმეტეს 0.200 კუთხე გრად.;
- განმეორადებადობა 0.0334 კუთხე გრად.:

„ჩასადგმელი კონტროლიორის“ ტიპის არქიტექტურა მდგომარეობს პერსონალური კომპიუტერის (PC) გამოყენებაში მოძრაობის მართვის მოწყობილობის პლატფორმის სახით. ეს საშუალებას იძლევა შეხამებულ იქნას მექატრონული მოდულების და სისტემების ფუნქციური მოძრაობების მართვასთან პლანირების ფუნქციებიც. აგრეთვე შესაძლებელია ერთიან აპარატულ და პროგრამულ მოწყობილობაში ინფორმაციულ-საზომი მონაცემების შეგროვება და დამუშავება. AutCAD, Excel, Windows NT/95/3.1, C++ და ა. შ. მომხმარებლის თვალსაზრისით, ძალზე მოსახერხებელს წარმოადგენს ისეთ მიდგომას, როგორცაა სტანდარტული ოპერაციული სისტემებისა და პროგრამული საშუალებების ინტეგრაცია. მოძრაობის პროგრამირების სისტემებთან

საწარმოო უჯრედების, საამქროებისა და წარმოების ავტომატიზაციის მმართველი კომპიუტერების გაერთიანება ხსელში, რაც საშუალებას იძლევა, შეიქმნას გამანაწილებელი მმართველი კომპლექსები. ამასთან მოდულური არქიტექტურა პერსონალური კომპიუტერის (PC) ბაზაზე, გარანტიას იძლევა აპარატული ნაწილის ეფექტური დაცვისა სითბური, ვიბრაციული და სხვა ზემოქმედებისაგან.

ჩასადგმელი ტექნიკური კონტროლიერები, რომლებიც იწარმოება სპეციალური ფილების (პლატების) სახით, დამატებით იდგმება პერსონალური კომპიუტერის მიკროსქემებში.

მონაცემთა გაცვლა კონტროლიორსა და პერსონალურ კომპიუტერს შორის ხორციელდება სტანდარტული (ჩვეულებრივი 32-ბაიტი) მისამართის და მონაცემების სალტიდან. ტიპური სალტების მაგალითებად შეიძლება მოყვანილი იქნეს სტანდარტები ISA, STD, VME და IBM-PC BUS. კონტროლიორის პლატაზე მდებარეობს სპეციალური ჩამრთველი ბუდეები ამძრავი ძალური გარდამქმნელის, უკუკავშირის გადამწოდების, გარე მოწყობილობების დისკეტური შესასვლელ/გამოსასვლელის ჩასართველად. დღეისათვის სერიულად გამოშვებული ჩადგმული მოძრაობის კონტროლიორის მაგალითს წარმოადგენს PCT-FlexMotion-6C, Netionel Instrunents-ფირმის მიერ წარმოებული მოდელი. მოწყობილობა საშუალებას იძლევა ბიჯურ რეჟიმში, დამატებით ორ ღერძზე, ერთდროულად იმართოს მექატრონული სისტემის მოძრაობა ექვსი კოორდინატით და უკუკავშირით. კონტროლიორის შემადგენლობაში შედიან ძლიერი მრავალამოცანიანი პროცესორი Motorola real-taim. 32-bit, ციფრული სიგნალური პროცესორი (DSP-procrssor) ფირმისა Analog Device, აგრეთვე მრავალ-არხიანი ანალოგიურ-ციფრული და ციფრულ-ანალოგიური გარდამქმნელები, ინტერ-ფეისები შიგა და გარე კომუნიკაციებისათვის.

კონტროლიერი საშუალებას იძლევა, რეალიზებული იქნეს მართული მოძრაობის შემდეგი სახეები:

- პოზიტიური მართვა;
  - გადაადგილება ციფრული (3D) ტრაექტორიებით და წრფივი ინტერპოლაციით;
  - კომპიუტერული მოძრაობები წრიული და სპლაინური ინტერპოლაციით;
  - კოპირებული მოძრაობები:
    - ა) მოძრაობის კონტროლირების ბლოკსქემა
- მუდმივი დამამახსოვრებელი მოწყობილობა (მდმ)

განედური იმპულსური მოდულატორი (გიმ)

კვების წყარო (კწ)

მოძრაობის კონტრდილერის ძირითადი ტექნიკური მახასიათებლებია:

მმართველი სიგნალის გათვლის პერიოდი (ერთი ღერძის გასწვრივ) 62,5მკწმ.

მართვის დიაპაზონები:

სიჩქარის მიხედვით 0–16მ ეგა იმპ/წმ

გადაადგილების მიხედვით 0–2147 483 647 იმპ.

აჩქარების მიხედვით 0–134 217 728 იმპ/წმ<sup>2</sup>

მართვის მაქსიმალური შეცდომები:

პოზიტიური შეცდომა  $\pm 1$ იმპ (უკუკავშირის ინკოდერისათვის)

0,0049 (ანალოგიური უკუკავშირისათვის),

ჩქაროსნული შეცდომა 0,02%

დისკრეტული შესასვლელ/გამოსასვლელი 24 ბიტი, 22 ხაზი

ანალოგიური ციფრული გარდაქმნები 8 ხაზი, 12 ბიტი 10მკწმ  $\pm 103$ ,

ციფრული ანალოგიური გარდაქმნები 18 ბიტი,  $\pm 103$ ,

გამოსავალი განედური იმპულსური მოდულატორისა 0,5–32კვრ,

### 3.5.2. ინტელექტუალური ძალური მოდულები

დაუბრუნდეთ მექატრონული მოდულების ინტელექტუალიზაციის შესაძლებლობების ანალიზს და განვიხილოთ მიდგომა, რომელიც მიმართულია მოძრაობის კონტროლირებისა და ამძრავის ძალური გარდამქმნელის ინტეგრაციისაკენ (ინტერფეისი ი2, სურ. 2.2). ასეთი გადაწყვეტა მიზანშეწონილია მრავალგანზომილებიანი მექატრონული სისტემებისათვის, რომელთა კომპონენტები ერთმანეთისაგან განლაგებულია მნიშვნელოვან მანძილებზე. ასეთ შემთხვევებში მართვის სისტემის კომპლექსირება ერთი პერსონალური კომპიუტერის ბაზაზე ძალიან რთულია, ზოგჯერ კი ტექნიკურად შეუძლებელიც, სიგნალებისა და მონაცემების დიდ მანძილზე გადაცემის პრობლემურობის გამო. მაგალითად სტანდარტული პროტოკოლი საშუალებას იძლევა, არაუმეტეს 9,15 მ–ზე გადაიცეს მონაცემები.

ასეთ სისტემებში ყოველი მოდულის მართვის ბლოკი იდგმება გარდამქმნელის კორპუსში ან ელექტროძრავის ყუთში. ამგვარ მოდულებს ეწოდა ინტელექტუალური ძალური მოდულები.

გადაწყვეტის ასეთი მაგალითია საწარმოო რობოტების ახალი მართვის სისტემა. ძალური და სუსტდენიანი ელექტრონული სისტემის ნაწილები (კვანძები) იდგმება მართვის საერთო ყუთში. მართვის სისტემას აქვს მმართველი მოდული. ამძრავის მოდული PM6-600 და კომპიუტერული მართვის მოწყობილობა Pentium პროცესორის ბაზაზე. მოცემული ვარიანტი მოსახეხრხებელია როგორც მომსახურებისთვის, ისე ექსპლოატაციისათვისაც, ეკონომიურია მის მიერ დაკავებული ფართის მიხედვითაც და უზრუნველყოფს თავისუფალ მიწვდომას სისტემის ყველა კომუნიკაციას.

ინტელექტუალური ძალური მოდულები იგება ახალი თაობის ნახევარგამტარული ხელსაწყოების ბაზაზე. ამ ხელსაწყოების ტიპური წარმომადგენელი არიან ძალური საველე ტრანზფორმატორები (MOSFET), ბიპოლარული ტრანზისტორები იზოლირებული საკეტი (IGBT) და ჩასაკეტი ტირისტორები საველე მართვით (IMGT). ხელსაწყოების ეს თაობა გამოირჩევა მაღალი სწრაფმოქმედებით (ტრანზისტორებისთვის IGBT კომუტაციის სიხშირე შეადგენს 50000 ჰც-მდე, ტრანზისტორებისთვის MOSFET – 100000 ჰც-მდე), კომუტირებული დენებისა და ძაბვების მაღალი მნიშვნელობებით (IGBT-სთვის: კომუტირებული დენის ზღვრული ძალა არის 1200 A, ზღვრული კომუტირებული ძაბვა 3500 B-მდე) და მართვის დაბალი სიმძლავრით.

ინტელექტუალური ძალური მოდულების შემადგენლობაში, ტრადიციული ძალური ელექტრონიკის ხელსაწყოების გარდა (გასაღებები, ძალური ტრანზისტორების ან ტირისტორების, დიოდების ბაზაზე) შედის მიკროელექტრონიკის ელემენტები, რომლებიც განკუთვნილია ინტელექტუალური ფუნქციების შესასრულებლად (მომართვის მართვა, დაცვა ავარიულ რეჟიმების დროს და გაუმართაობის დიაგნოსტიკა). ინტელექტუალური ძალური მოდულების გამოყენება მექატრონული მოდულების ამძრავთა შემადგენლობაში საშუალებას იძლევა, მნიშვნელოვნად შემცირდეს ძალური გარდამქმნელის მასგაბარიტული მაჩვენებლები ექსპლუატაციის დროს, მომატებული იქნეს მათი საიმედოობა და გაუმჯობესდეს ტექნიკურ-ეკონომიკური მაჩვენებლები. უკანასკნელ წლებში ინტელექტუალური ძალური მოდულების ბაზარი სწრაფად ვითარდება და ყოველ მომდევნო წელს მოსალოდნელია მისი მნიშვნელოვანი ზრდა.

### 3.5.3. მექატრონული მოდულებისა და სისტემების ინტელექტუალური სენსორები

ინტელექტუალური სენსორების შექმნის მიზანს წარმოადგენს მექანიკური მოძრაობის მიმდინარე პარამეტრების გაზომვის, მათი გარდაქმნების და კომპიუტერული დამუშავებების ფუნქციების გაერთიანება, მოცემული ალგორითმების მიხედვით, ერთიან ინფორმაციულ-საზომ მოდულში. სტრუქტურული თვალსაზრისით, ლაპარაკია მექატრონული მოდულების სენსორული და კომპიუტერული ბლოკების ინტეგრაციაზე (ინტერფეისი იხ. ნახ. 2.2–ზე). სენსორების ინტელექტუალიზაცია საშუალებას იძლევა, მიღწეულ იქნეს გაზომვის უფრო მაღალი სიზუსტე, პროგრამული უზრუნველყოფის გზით, თვით სენსორულ მოდულში უზრუნველყოს ხმაურის ფილტრაცია, დაკალიბრება, შესავალ-გამოსავალი მახასიათებლების გასწორება (გაწორფივება), გადაჯვარედინებული ბმების კომპენსაცია, ნულის ჰისტერეზისი და დრეიფი.

მექატრონულ მოდულებში სენსორები განკუთვნილია მოძრავი სისტემის ელემენტების ფაქტურ მდგომარეობაზე მონაცემების შესაგროვებლად (შემსრულებელი ამძრავზე, მექატრონულ მოწყობილობაზე და მუშა ორგანოზე), შემდგომ რეალურ დროში დასამუშავებლად და კომპიუტერული მართვის მოწყობილობაში უკუკავშირის სიგნალის გადასაცემად.

ტიპურ გასაზომ სიდიდეებს მიეკუთვნება ის ინფორმაციები, რომლებიც გამოიყენება მექანიკური მოდულებისა და სისტემების მართვის დროს. ეს სიდიდეებია: გადაადგილება, ხაზოვანი ან კუთხური სიჩქარე, აჩქარება და მომენტები, რომლებიც განვითარებულია შემსრულებელი ძრავების მიერ, აგრეთვე მუშა ორგანოზე მოქმედი გარე ძალები (მაგალითად, შპინდელის მოდულზე, იხ. ნახ. 3.5 და 3.6); მუშა ორგანოს მდებარეობა და ორიენტაცია სივრცეში.



მთლიანობაში ინტელექტუალური სენსორების წარმოების ტექნოლოგიისა და პროექტირების პრობლემა არის დამოუკიდებელი სამეცნიერო ტექნიკურ სფერო და გადის განხილული საკითხების ჩარჩოებს გარეთ. მექატრონიკისათვის საინტერესოა ინტელექტუალური სენსორების ინტეგრაციის საშუალებები, მოძრაობის მექატრონულ მოდულებსა და ციფრულ კოდში, გასაზომი ფიზიკური სიდიდის შუალედური გარდაქმნების მინიმიზაციის მეთოდები, რომელიც გამოსადეგია კომპიუტერული მართვის მოწყობილობაში შესაყვანად.

შუალედური გარდაქმნების მინიმიზაციის თვალსაზრისით ოპტიკური ინკოდერები ჩადგმული მიკროპროცესორებით ერთ-ერთ უფრო ეფექტურ უკუკავშირის გადამწოდებს წარმოადგენს. თანამედროვე ინკოდერების განმასხვავებელ უპირატესობებს შორის შეიძლება გამოიყოს როგორც გადაადგილების, ისე მოძრაობის სიჩქარის განსაზღვრის შესაძლებლობა, მაღალი სიზუსტე და დაბალი ხმაური გაზომვის დროს, მრავალბრუნვადობა, კონსტრუქციული კომპაქტურობა და მექატრონულ მოდულში ჩადგმის შესაძლებლობა. საჭიროა აღინიშნოს, რომ ინკოდერები იძლევიან სიგნალს კოდური ფორმით, რაც მოსახერხებელია რეალურ დროში კომპიუტერული დამუშავებისათვის.

განასხვავებენ ინკოდერების ორ ძირითად სახეობას: აბსოლუტურს და ინკრემენტალურს. აბსოლუტური ინკოდერები იძლევა ინფორმაციას ფიქსირებული ნულოვანი მდებარეობის მიმართ ლილვის მოძრაობის დროს წრფივი და კუთხური გადაადგილების სიდიდეებზე.

აბსოლუტური ინკოდერის უპირატესობებს წარმოადგენს გაზომვის საიმედოობა (მაშინაც კი, როდესაც დენის წყარო დროებით გამორთულია, ინფორმაცია არ იკარგება), მაღალი სიზუსტე მოძრაობის დიდი სიჩქარის დროს, ნულოვანი მდებარეობის დამახსოვრება (ეს საჭიროა მანქანების რევერსული და ავარიული მოძრაობების მართვის აუცილებლობის შემთხვევაში).

ინკრემენტალური გადამწოდი იძლევა ინფორმაციას გადაადგილების მიმართულეებასა და სიდიდეზე მეტობით (ზედმეტი მნიშვნელობებით) საწყისი მდებარეობის მიმართ, რაც სრულიად საკმარისია პრაქტიკაში გამოყენებისათვის.

ინკოდერების ინტელექტუალიზაცია უზრუნველყოფილია ჩადგმული მიკროპროცესორებით, რომლებიც ასრულებენ შემდეგ ძირითად ფუნქციებს: გადამწოდის

ინფორმაციის კოდირება, გაზომვის შეცდომების აღმოჩენა, სიგნალის მასშტაბირება და სტანდარტული ინსტრუქციის მიხედვით, მიმდინარე კოდის გადაცემა მოძრაობის კონტროლერში. ინკოდერების შექმნაში მიმდინარე ტენდენცია მდგომარეობს კონსტრუქციული ელემენტების ერთიან სენსორულ მოდულში გაერთიანებაში. ამ ტენდენციის ტექნიკური განხორციელების მაგალითს წარმოადგენს მბრუნავი ინკოდერი AR (შემუშავებული ფირმა Parker-ის მიერ). ქვემოთ მოყვანილია მისი ზოგიერთი ტექნიკური მახასიათებელი:

– ნებადართულობის შესაძლებლობა 1024 პოზიცია/ბრ ან 16384 პოზიცია/ბრ (აირჩევა და მასშტაბირდება მომხმარებლის მიერ მიკროპროცესორის მეშვეობით);

– პოზიციების მაქსიმალური რიცხვი 8388608 (მიიღწევა დამატებითი დისკების გამოყენებით და მუშაობის მრავალბრუნიან რეჟიმზე გადასვლით);

– ცდომილება არა უმეტეს 5,5 კუთხე.წთ;

– ბრუნვის სიჩქარე 5000 ბრ/წთ–მდე;

– გაზარიტები: სიგრძე–87 მმ; დიამეტრი–60 მმ;

– მასა 0,45 კგ.

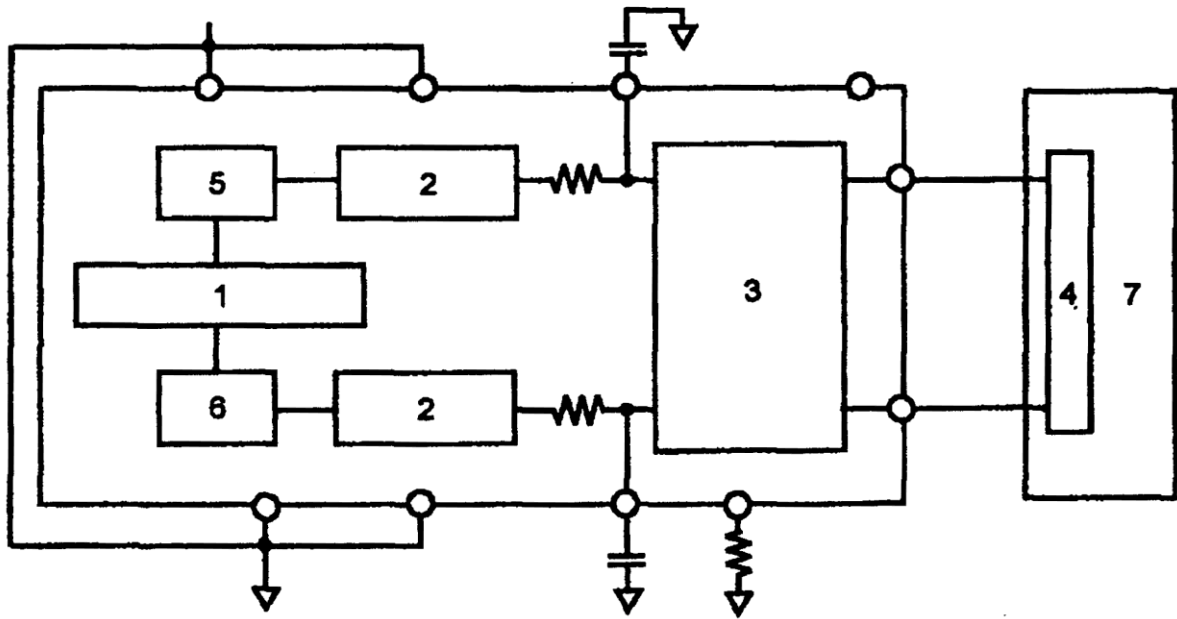
მექატრონიკის ინტეგრაციული მიმართულება ასტიმულირებს ე. წ. ჰიბრიდული ტექნოლოგიების განვითარებას, განსაკუთრებით კომპაქტური და მინიატურული მოდულების წარმოებისათვის. ჰიბრიდული ტექნოლოგიები ითვალისწინებენ ერთიანი მასალების გამოყენებას (პირველ რიგში ნახევარგამტარების – მაგალითად, კაჟბადი), როგორც მექანიკურისათვის, ისე მიკროელექტრონული კომპონენტებისათვის. ეს საშუალებას იძლევა, რადიკალურად შემცირდეს მოდულის ზომები, მისი საფასურის გაზრდის გარეშე, რაც ფაქტიურად შეუძლებელია ტრადიციული საწარმოო ტექნოლოგიების დროს.

სერიულად იწარმოება მექანიკური მოძრაობის პარამეტრების განმსაზღვრელი სენსორები, ჰიბრიდული ტექნოლოგიების ბაზაზე, ფირმა Analog Device-ის მიერ. მაგალითისათვის განვიხილოთ ADXL05 მოდულის აჩქარების გადამწოდი, რომელიც შეიძლება გამოყენებული იქნეს, როგორც მექატრონულ მოდულებში ისე ვიბროდიაგნოსტიკისა და დამცავი სიგნალიზაციის სისტემებში.

აქსელერომეტრი წარმოადგენს ინტეგრალურ მიკროსქემას (კორპუსის დიამეტრი 9,4მმ, სიმაღლე 4,7მმ) გერმეტიულ შესრულებაში, რომელსაც აქვს 10 გამოსასვლელი. ზომადი აჩქარების დიაპაზონი შეიძლება არჩეული იქნეს მომხმარებლის მიერ  $\pm 1g$ -დან  $\pm 5g$ -მდე, შესაბამისი გამოსასვლელი სიგნალით 200 mv/g-დან 1 v/g. აქსელერომეტრის გამოსავალი უშუალოდ ირთვება ავტომატურ ციფრულ გარდამქმნელში რომელიმე დამატებითი აქტიური ელემენტების გარეშე.

სენსორის შემადგენლობაში შედის ძირითადი ბლოკები: აჩქარების გადამწოდი (შეიცავს საერთო ვიბრირებად ფირფიტას და 46 დამატებით ელემენტს), გენერატორი, დემოდულატორი, კვების წყარო, წინასწარი და ბუფერული გამაძლიერებლები და რიგი პასიური ელემენტები (რეზისტორები და კონდენსატორები) აწყობისათვის. აქსელერომეტრის მოქმედება დამყარებულია დიფერენციალური მოცულობითი გარდამქმნელის პრინციპზე, ე.ი. კონდენსატორების ბლოკზე, რომლის ელექტრული პარამეტრები იცვლება ზოგადი ზემოქმედების ქვეშ.

განხილული ADXL05 მოდულის გადამწოდი შეიძლება გამოყენებული იქნეს ერთკოორდინატიან მექატრონულ მოდულებში, იმიტომ, რომ ის ზომავს აჩქარების ვექტორის ერთ კომპონენტს. მრავალგანზომილებიანი მექატრონული სისტემებისათვის ფირმის მიერ შემუშავებულია მრავალკომპონენტიანი სენსორები, მაგალითად, ADXL202 მოდულის აქსელერომეტრი. ეს სენსორი გამოიყენება „TAPI C-ის“ ფირმის მობილურ რობოტებში (იხილე თავი 4) დახრის კუთხეებისა და დიფერენტის განსაზღვრისათვის, დახრილი მიწისქვეშა მილსადენებში სამუშაოების შესრულების დროს. ამ სენსორის ფუნქციონალური სქემა მოყვანილია ნახ. 3.9-ზე.



ნახ. 3.9. ორკომპონენტანი აქსელერომეტრის ბლოკ-სქემა;

- 1 რხევების გენერატორი; 2 დემოდულატორი;
- 3 განედურ იმპულსური მოდულატორები;
- 4 პორტი
- 5 აჩქარების საზომი X გასწვრივ;
- 6 აჩქარების საზომი Y გასწვრივ;
- 7 მიკროპროცესორი

გადამწოდი იძლევა ინფორმაციას აჩქარებების მნიშვნელობებზე მართვის ობიექტის სივრცითი მოძრაობის დროს (x, y) ღერძების გასწვრივ  $\pm 2g$  დიაპაზონში. გადამწოდის გამტარობის ზოლი დგება მომხმარებლის მიერ 0,01ჰც–დან 5კჰც–მდე ინტერვალში. გადასაჭრელი ამოცანისაგან გამომდინარე გაზომვის ცდომილება შეადგენს 5 მგ, ხოლო ზოლისათვის 60 ჰც. გამომავალი სიგნალი ფორმირდება განედურ იმპულსური მოდულატორით, ამიტომაც მისი ციფრული კოდი განისაზღვრება მიკროპროცესორული მრიცხველით, ანალოგურ-ციფრული გარდამქმნელის გარეშე. გამოსასვლელი სიგნალის პერიოდი რეგულირდება 0,5 მწმ–დან 10 მწმ–მდე დიაპაზონში. სენსორის ნორმალური მუშაობა გარანტირებულია 0–დან  $+70^{\circ}C$  ტემპერატურამდე ჩვეულებრივი სტანდარტული მასობრივი შესრულებისას, ხოლო  $-40$ –დან  $+85^{\circ}C$  მდე სპეციალური შესრულებისას. ჰიბრიდული ტექნოლოგიების რეალიზაციის ერთ-ერთ

მაგალითს, რომელიც ორიენტირებულია მასობრივ მომხმარებელზე, წარმოადგენს ინტელექტუალური ავტოკალმის პროექტი, რომელიც საშუალებას იძლევა, დაიწეროს ქაღალდზე და იმავდროულად ტექსტი შეტანილ იქნას კომპიუტერში. შეფარდების ძალა/აჩქარება გრაფიკული ინფორმაციის კოდირებისათვის გამოიყენება ძალისა და აჩქარების პეზოელექტრული და კალმის კუთხის დახრის გადამწოდები. მომხმარებლისათვის მისაღები ფასის შემთხვევაში შესაძლებელია პეზოგადამწოდის მგრძობიარე ელემენტები, და ყველა სხვა ელექტრონული წრედების განთავსება ერთ კაჟბადურ კრისტალში, რაც საშუალებას იძლევა მიღწეულ იქნას ავტოკალმის სასურველი გაბარიტები ( ის არ აღემატებიდეს ჩვეულებრივი მარკერის ზომას).

ინტელექტუალურ მექატრონულ მოდულებში საინტერესო მიმართულებას წარმოადგენს მექანიკური მოძრაობის პარამეტრების გაზომვის არაპირდაპირი მეთოდები. ამ შემთხვევაში შეიძლება საერთოდ უარი ითქვას ტიპური გადამწოდების დაყენებაზე, რითაც მიღწეული იქნას მოდულის მინიმალური გაბარიტული ზომები და მასალის რაოდენობა. სიჩქარის სიდიდე და მოქმედი მომენტის მდებარეობა შეიძლება გამოითვალოს კომპიუტერული ბლოკით, მათემატიკური მოდელირების მეშვეობით, როდესაც მიმდინარეობს ელექტრომექანიკური პროცესები (ამიტომაც ხშირად გამოიყენება ტერმინი „ვირტუალური გადამწოდები.“)

დიდი ხანია, კარგადაა ცნობილია მუდმივი დენის ძრავის მიერ განვითარებული მომენტის არაპირდაპირი განსაზღვრის ხერხი, ღუზის წრედში პროპორციული დენის სიდიდის მიხედვით, რომელიც ხშირად გამოიყენება საწარმოო ამძრავებში. უკანას-კნელი დროს შემუშავებულია ზოგი მეთოდი და მოწყობილობა ელძრავების სიჩქარეების არა პირდაპირი გაზომვისათვის, ასე მაგალითად, ასინქრონული ძრავის ბრუნვის სიჩქარის სტაბილიზება შესაძლებელია, ძრავის ღერძზე სიჩქარის გადამწოდის დაყენების გარეშე, როდესაც სტატორის დენის უკუკავშირის მეშვეობით შენარჩუნებულია სტატორის ხვიაში დენის ძალის ძაბვასთან თანაფარდობა მოცემულ დონეზე. სამფაზიანი, მცირე სიმძლავრის ვენტილური ძრავებისათვის, ბრუნვის ელექტრომამოძრავებელი ძალის მიხედვით შემუშავებულია ხვიების კომუნიკაციის მეთოდი, რომელიც საშუალებას იძლევა, ძრავის კონსტრუქციიდან ამოღებული იქნას როტორის მდებარეობის ტრადიციული გადამწოდები. არაპირდაპირი გაზომვების ყველა მეთოდი ითხოვს ადეკვატური მათემატიკური მოდელების აგებას და მათი

ეფექტური კომპიუტერული რეალიზაციის უზრუნველყოფას რეალურ დროში, დაბრკოლებების ფილტრაციის, გაზომვების დამუშავებისა და ინფორმაციის ციფრული კოდირების ჩათვლით. იაფი ჩასადგმელი მაღალსიჩქარიანი (სწრაფმოქმედი) მიკრო-პროცესორული საშუალებების ბაზაზე გამოჩენა ხდის ამ მეთოდებს პერსპექტიულებს ახალი თაობის ინტელექტუალური მექატრონული მოდულებისათვის.

## თავი 4. თანამედროვე მექატრონული სისტემები

1 თავში მოყვანილი მექატრონული სისტემების გამოყენების სფეროზე თვალის გადავლევაც მოწმობს მათი მოხმარების მრავალფეროვნებას. არსებულ სახელმძღვანელოში ჩვენ შემოვიფარგლებით მხოლოდ იმ ზოგიერთი სისტემის განხილვით, რომელიც განეკუთვნება მხოლოდ ავტომატიზებულ მანქანათმშენებლობის სფეროს. აღნიშნულ თავში პირველი სამი მაგალითი აღებულია რობოტოტექნიკიდან. მექატრონიკა მთელს მსოფლიოში ცნობილია, როგორც სამეცნიერო ტექნიკური მიმართულებად და როგორც საინჟინრო სპეციალობად, რომელიც მჭიდროდ არის დაკავშირებული რობოტოტექნიკასთან. საჭიროა აღინიშნოს, რომ ბევრ ევროპულ და ამერიკულ სამეცნიერო-ტექნიკურ ცენტრებში მექატრონიკა გამოიყოფა, როგორც დამოუკიდებელი მიმართულება, რაც მიუთითებს მისი განვითარების მნიშვნელობასა და პრიორიტეტზე. მაგალითების განხილვისას განსაკუთრებული ყურადღება უნდა მიექცეს იმას, თუ როგორ არის რეალიზებული კონკრეტულ შემთხვევაში როგორც მექატრონული სისტემების აგების კონცეფცია, ისე მექატრონიკის პრინციპები, რომლებიც მოცემულია მე-3 და მე-4 თავებში.

### 4.1. მობილური რობოტები მიწისქვეშა მილსადენების ინსპექციისა და რემონტისათვის

ნავთობსადენებისა და გაზსადენებისათვის მილების რემონტისა და ექსპლუატაციის პრობლემა დღესაც ძალზე აქტუალურია. ასევე პრობლემურია წყალსადენი და კანალიზაციის ქსელების, წყალსაგდები არხებისა და მდინარეებიდან წყალშემკრებების რემონტიც. მობილური რობოტების გამოყენება ტელეინსპექციისათვის დამაგისტრატორების მომსახურებისათვის საშუალებას იძლევა სანგრის გათხრის გარეშე, რემონტის მეთოდების დანერგვის გარდა თავიდან აცილებულ იქნას ტექნოგენური და ეკოლოგიური ავარიები და კატასტროფები (ძალზე ძნელია დათვლილ იქნას მრავალმილიონიანი ზარალი და აღიწეროს ის აუნაზღაურებელი დანაკარგი ბუნებაში, რითაც ხშირად დაკავებული არის ეკოლოგიური სამსახურები).

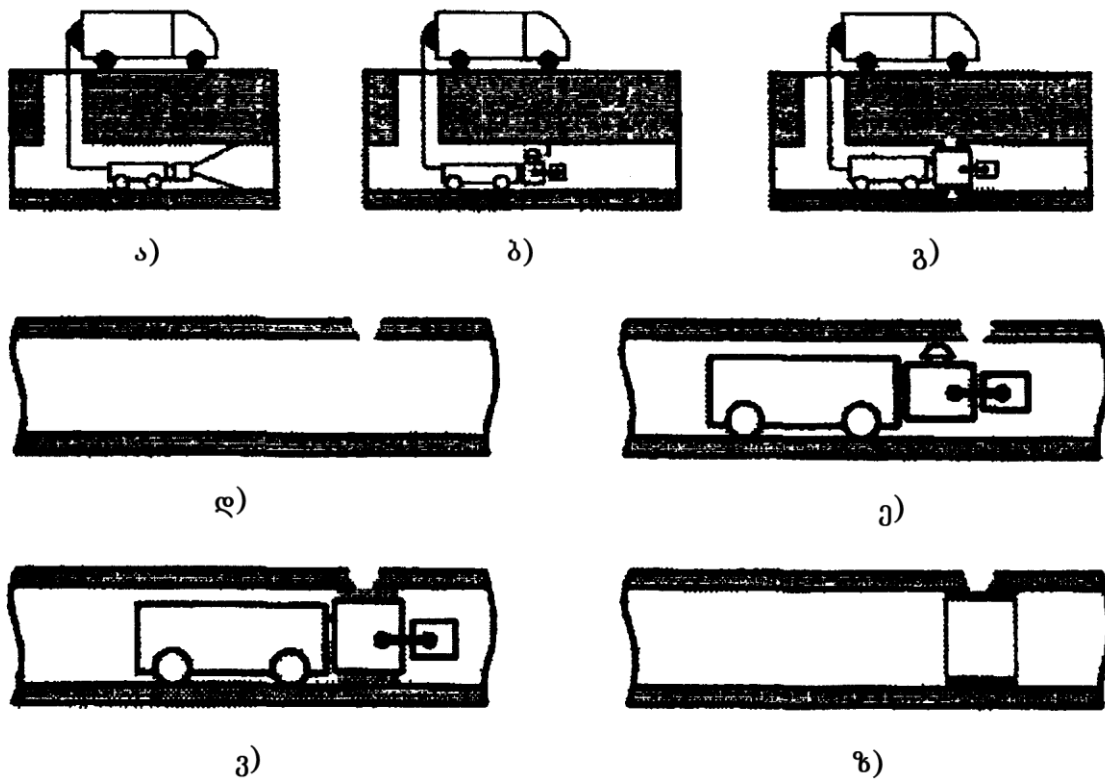
არსებული მონაცემების საფუძველზე შეიძლება თამამად ითქვას, რომ ასეთი რობოტების გამოყენებით, მხოლოდ ერთი წლის ექსპლუატაციის პირობებში შესაძლებელია მიღწეულ იქნას უზარმაზარი ეკონომიკური ეფექტი. რობოტიზაცია საშუალებას იძლევა, განხორციელდეს მოძველებული მაგისტრალების რენოვაცია და სანაცია, მოქმედი მილსადენების მდგომარეობის კონტროლი და ახლების ექსპლოატაციაში მიღება. ასევე შესაძლებელია ჩატარდეს ქსელების ეკოლოგიური მონიტორინგი და მიწისქვეშა კომუნიკაციების რუქა.

წყალგაყვანილობისა და კანალიზაციის ქსელებისათვის ინსპექციური რობოტების მსოფლიოში წამყვან მწარმოებელს წარმოადგენს ფირმა „TARIS“. დამთვალერიებული რობოტი p-200 განკუთვნილია 150-დან 1200მმ-მდე მილსადენების ტელეინსპექციისათვის. ამ მობილურ რობოტს აქვს საცვლელი ბორბლები და ფერადი მბრუნავი ტელეკამერა. რობოტი იმართება დისტანციურად ოპერატორის მიერ მართვის პოსტიდან, რომელიც განთავსებულია ავტომობილში (კაბელის სიგრძეა 1500მ). მართვის პოსტს აქვს ფერადი მონიტორი და დოკუმენტების ციფრული სისტემა კომპიუტერის ბაზაზე. ტელეკამერა აღჭურვილია დამიზნების მოწყობილობით მილის კედლის დასათვალერიებლად, ძირითადი და დამატებითი განათების ბლოკებით, ელექტრომექანიკური შუშის საწმენდით და აგრეთვე აქვს ფოკუსირების დისტანციური ამძრავი. ამძრავი არის ჰერმეტიულად აწყობილი, მას შეუძლია იმუშაოს წყლის სიღრმეშიც, კორპუსში იტუმბება აზოტი, რათა თავიდან იქნეს აცილებული ნესტის მიერ შიგნით კონდიცირება და ტელეკამერის შუშების დაორთქლება. გადაადგილების ამძრავები წარმოადგენს „მოტორ-ბორბალის“ ტიპის მექატრონულ მოდულებს მუდმივი დენის ძრავების ბაზაზე. ტელეინსპექციის სქემა ნაჩვენებია ნახ.4.1-ზე. ტექნიკური მხედველობის გარდა, რობოტი აღჭურვილია მანძილის გადამწოდით, დახრის კუთხის, კორპუსის დიფერენციისა და ტელეკამერის სხვადასხვა კუთხით ორიენტაციის გადამწოდებით. ეს სენსორები აუცილებელია არა მხოლოდ რობოტის მოძრაობის მართვისათვის, არამედ მილსადენის მდებარეობის გეზნიშვნისათვის. რობოტები იძლევა ინფორმაციას მილების პროფილსა და შიგა დეფექტებზე აღმოჩენილ უცხო საგნის კოორდინატებზე.

ტელერობოტები „TARIS“ საშუალებას იძლევა არა მხოლოდ დაზიანების აღმოჩენის, არამედ რიგი დეფექტების აღმოფხვრისა. რობოტი ROKOT-1M, მილის შიგა სარემონტო ოპერაციების შესასრულებლად დაკომპლექტებულია საცვლელი მუშა



ორგანოებით: სხვადასხვა სახის საფრეზი საცვლელი თავები განკუთვნილია ზედაპირების ლოკალური გასუფთავებისათვის, ბურღვისათვის მირჩილვის შედეგად დარჩენილი ელემენტების მისაჭრელად და მილის პლასტიკით სანაცის შემდეგ გვერდითა გამოშვებების გასაწმენდ დეფექტების შეკეთება სრულდება ბანდაჟური თავის მეშვეობით, რომელიც ახერხებს, 100მმ სიგანის რგოლური ბანდაჟის დადებას, სპეციალურად გაჟღენთილი ნაჭრით. მილსადენში დაზიანებისა და გაჟონვის ლიკვიდაციის სქემა ნაჩვენებია ნახ. 4.1-ზე.



ნახ. 4.2. რობოტიზებული ოპერაციების სქემები:

- ა) მილსადენის ტელეინსპექცია; ბ) გამოშვებული ელემენტების მოჭრა;
- გ) დეფექტის ლოკალური გაკეთება; დ) დეფექტი მილსადენში;
- ე) გაწმენდა საფრეზი თავის მეშვეობით; ვ) შიგნითა სარტყელის დაყენება;
- ზ) მილსადენი რემონტის შემდეგ

მობილური რობოტი წარმოადგენს სპეციალური სახის მექატრონულ სისტემას, რომელშიც ელექტრომექანიკური, სენსორული და ელექტრული ნაწილების საპრო-

ექტო-საკონსტრუქტორო სამუშაოები გადაწყვეტილია მხოლოდ ურთიერთკავშირში, რადგან უკვე საწყის ეტაპზე გათვალისწინებულია მთავარი მალიმიტირებელი ფაქტორი – მილის დიამეტრი.

მოხილური რობოტოტექნიკის განვითარების პერსპექტივები დაკავშირებულია მართვის მოწყობილობებისა და სენსორების ინტელექტუალიზაციასთან, რაც საშუალებას იძლევა გამჯობესდეს ჩატარებული ოპერაციების ხარისხი და მათი შესრულების ავტონომიურობა.

რობოტის მიერ ავტომატურად გადაწყვეტილების მიღება, ადამიანი-ოპერატორის გარეშე, მიზანშეწონილია შემდეგ ოპერაციებში:

1. გარეშე ობიექტის აღმოჩენა და გამოცნობა მილსადენში ტექნიკური მხედველობის სისტემისა და ლოკაციური გადამწოდების ინფორმაციის გამოყენებით;
2. სენსორებიდან მიღებული სიგნალების და ამძრავი მოდულის (ძრავი-ბორბალის) გადამწოდის ინფორმაციის ბაზაზე ტრაექტორიისა და მოძრაობის სიჩქარის განსაზღვრა მოსახვევში გავლის დროს;
3. საფრეზი თავისა და სხვა ინსტრუმენტების მუშაობის რეჟიმების მართვა, მოქმედ ძალასა და მომენტზე მოღებულ ინფორმაციის ბაზაზე;
4. მილის კედლის სისქის დიაგნოსტიკა და გაზომვა.

#### **4.2. ლაზერული რობოტოტექნიკური კომპლექსი**

ლაზერული რობოტოტექნიკური კომპლექსი განკუთვნილია ჰორიზონტალურ სიბრტყეზე რთული კონტურების ლაზერული ჭრისათვის. კომპლექსის შემადგენლობაში შედის: მანიპულატორი კინემატიკური სქემით SCARA, მყარტანიანი ლაზერი, როგორც მუშა ორგანო, IBM PC-ს ტიპის კომპიუტერი ჩადგმული მოძრაობის კონტროლიორით და გრაფიკული პროგრამირების სისტემით LAB VIEW გარემოში.

რობოტი გამოიყენება ლაზერული საჭრისის კონტურული გადაადგილებისათვის მუშა ზონაში. არჩეული კინემატიკური სქემა უზრუნველყოფს მანიპულატორის მოძრაობის მაღალ სიზუსტეს (გადახრა პროგრამული ტრაექტორიიდან არაუმეტეს 0,05მმ მაქსიმალური სიჩქარისას 0,7მ/წმ) , ამძრავი-ელექტრონული.

ANG\_ND ტიპის კომპაქტური ლაზერი დამზადებულია ალუმინატრიუმის ძოწის ბაზაზე და აქვს შემდეგი ძირითადი მახასიათებლები: ტალღის სიგრძე 1,06 მკმ, გამოსხივების სიმძლავრე 150 ვტ, ფოკუსური მანძილი 50 მმ, წყლის მოხმარება 5 ლ/წთ, ელექტროენერჯის მოხმარება 25 კვტ/სთ.

მექატრონული სისტემის ფუნქციონალური მოძრაობების მართვა (ე. ი. მრავალხარისხიანი მანიპულატორის შემსრულებელი ელექტროძრავების მართვა ლაზერის სამუშაო რეჟიმებთან) ხორციელდება მართვის მოწყობილობით, რომელიც შეიცავს

- IBM PC ტიპის კომპიუტერს, საწარმოო შესრულებით;

- TeCh 80 ტიპის სერიის 5650 მოძრაობის კონტროლიორს, რომელიც სიგნალური პროცესორის ბაზაზე შექმნილი (კვანტირების დრო 100მკწმ, შესავალ–გამოსავლის 8 არხი, ამძრავის ძრავა 16 ბაიტის ავტომატური მართვის მოწყობილობიდან);

- CPCR\_MR05 ტიპის ძალური გარდამქმნელები

მართვის სისტემის პროგრამული უზრუნველყოფა შემუშავებულია lab View მომხმარებლის ინტერფეისისათვის, რომელც წარმოადგენს მოძრაობის კონტროლიორისათვის ალგორითმს დასამუშავებლად, რათა განხორციელდეს რობოტისა და დამხმარე ტექნოლოგიური აღჭურვილობის მართვის პროგრამების ავტომატური გენერაცია.

შექმნილია სპეციელური ბიბლიოთეკა რთული მოძრაობის სამართავად, რომელსაც გააჩნია 150 ბრძანება შემდეგი ძირითადი ფუნქციებისათვის;

- სისტემის საწყისი ინიციალიზაცია;

- ნამზადის კომპიუტერული ნახაზით ლაზერის მოძრაობის ტრაექტორიის პლანირება;

- ამძრავთა მოძრაობის ოპტიმალური კანონების გათვლა დროში;

- მათემატიკური ფუნქციები;

- სისტემის მექანიკური ნაწილის დაკალიბრება;

- მართვის ბლოკების, ინკოდერების და შემზღუდველების კონფიგურაცია;

- კავშირი მართვის მოწყობილობისა გარე დანადგარებთან.

დამუშავებულ მართვის სიტემას აქვს გარე არქიტექტურა, რაც გამოყენებული გადამწოდების შეკრებილ ინფორმაციის ვარირების საშუალებას იძლევა და ცვლის რეგულატორის პარამეტრებს მოძრაობის პროცესში. აგრეთვე ლოკალური ქსელიდან

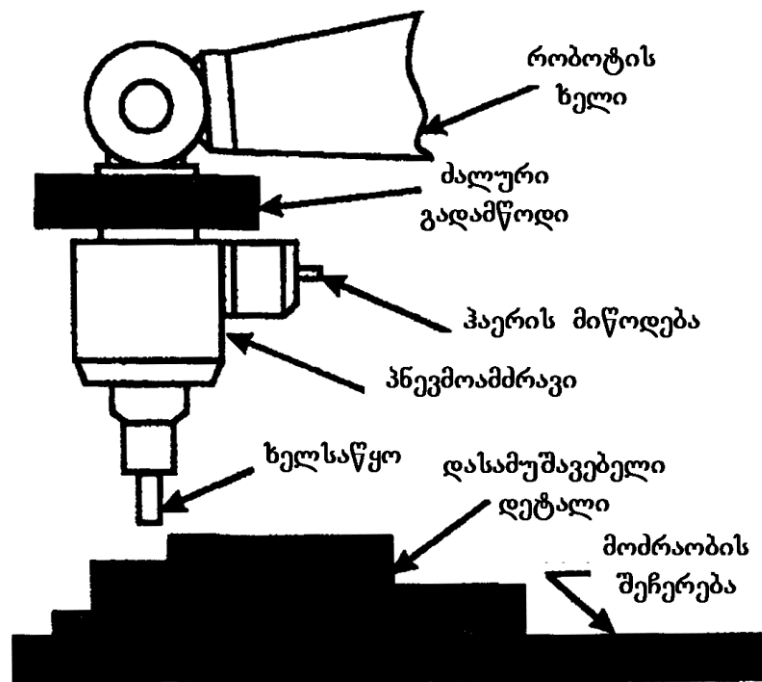
ახდენს რობოტოტექნიკური კომპლექსების რთულ საწარმოო კომპლექსში ინტეგრირებას.

### 4.3 მექანიკური დამუშავების რობოტოტექნიკური კომპლექსი

რობოტოტექნოლოგიური კომპლექსი (რტკ) განკუთვნილია პლასტმასისი დეტალების და მსუბუქი შენადნობების მექანიკური დამუშავების პროცესის შესასრულებლად. ტიპური ოპერაციათა რიცხვს მიეკუთვნება ნაწიბურების გასუფთავება, ლითონის მასალებზე ქერქის მოხსნა, კონტურებისა და ზედაპირების ხეხვა, ნახვრეტების ბურღვა, ნაზოლების მოცილება. ერთ-ერთი პირველი რობოტოტექნოლოგიური კომპლექსი დამუშავებულია 1994-95 წლებში, ბუდაპეშტის ტექნიკური უნივერსიტეტის მიერ.

რტკ-ს შემადგენლობაში შედის: საწარმოო რობოტი, რომელიც შეიცავს მანიპულატორს PUMA-560 და მართვის მოწყობილობას „Sfera-36”, IMB PC ტიპის ზედა დონის კომპიუტერს, პნევმოელექტროაპარატურის ბლოკს, ცვლად მუშა ორგანოებს (საჭერები, ინსტრუმენტალური პნევმოთავები), საჭრელი ინსტრუმენტების კომპლექტს (ფრეზები, ქლიბები, ლითონის ჯაგრისები), ძალურმენტალური შეგრძნების მოწყობილობას, ანალოგიური სიგნალების შეყვანის ბლოკით მართვის მოწყობილობაში მგრძნობიარე ძალმომენტური მოწყობილობის და სიგნალების კომპიუტერში შეყვანა-გამოყვანის მრავალფუნქციონალური ადაპტორს.

რტკ-ზე ტექნოლოგიური საწარმოო პროცესების შესასრულებლად შესაძლებელია მის შემადგენლობაში გორგოლაჭიანი ტრანსპორტიორის ნამზადების მიწოდების მექანიზმის და ასევე ფიქსატორიანი მობრუნებადი მაგიდის შეყვანა. რტკ-ის ტექნოლოგიური მოწყობილობა უზრუნველყოფილია პნევმოკვებით 0,5 მპა წნევის ქვეშ. კერძოდ, მექანიკური დამუშავების დროს მუშა ორგანოს სახით გამოიყენება სპეციალური პნევმოთავი, დამზადებული ფირმა NOKIA-ს მიერ, რომელიც მაგრდება ძალურმომენტალური გადამწოდის გარე მილტუჩაზე (ნახ. 4,2) პნევმოთავის ძირითადი ტექნიკური მახასიათებლებია: სიმძლავრე 160 ვტ, შემავალი ლილვის ბრუნვის სიხშირეა 28000 ბრ.წმ, მასა 1,5კგ.



ნახ. 4.2. ტექნოლოგიური რობოტის მუშა ორგანო

ანტრომორფული ტიპის ელექტრომექანიკურ მანპულატორს PUMA-560 აქვს 6 მბრუნავი თავისუფლების ხარისხი. მოძრაობის ხარისხის ამძრავები შექმნილია მუდმივი დენის ძრავის ბაზაზე, რომელსაც აქვს დამცავი მუხრუჭები და ინკრემენტალური ინკოდერები უკუკავშირის გადამწოდების სახით. რობოტის ტვირთამწეობაა 2,5კგ, პოზიცირების სიზუსტე 0,1მმ.

მართვის მოწყობილობა „SFERA-36“ განკუთვნილია მანიპულატორის ფუნქციონალური მოძრაობების პოზიციურ-კონტურული მართვისათვის და აქვს „კომპიუტერი – გარე კონტროლიორის“ ტიპის არქიტექტურა შემსრულებელი ამძრავების მართვისათვის. სისტემა არის ორდონიანი და მრავალპროცესორული: ის შეიცავს ერთ ცენტრალურ და ექვს ამძრავის პრიცესორს. მოწყობილობის მოდულებს აქვთ შინაგანი კავშირის უნიფიცირებული სალტეები (Q-BVS-ი) და ტექნოლოგიურ მოწყობილობასთან კავშირის სტანდარტული ინტერფეისი. დაწვრილებით ტექნიკური მახასიათებლები მანიპულატორი PUMA-560-ის და „SFERA-36“ ტიპის მართვის მოწყობილობისა მოყვანილია მეთოდურ დამუშავებაში [40]

ძალურმომენტური შეგრძნების მოწყობილობა შედგება ორი ფუნქციური მოდულისაგან: ძალის გადამწოდისაგან და ძალურმომენტალური ინფორმაციის დამუშავების ბლოკისაგან. ძალის გადამწოდი კინსტრუქციულად შესრულებულია

ბრტყელი ჯვარისმაგვარი ფირფიტების სახით, რომელთა წახნაგებზე დაწებებულია ტენზორეზისტორები. გადამწოდის კონსტრუქცია ითვალისწინებს რობოტის მუშა ორგანოზე მოქმედი ძალის ვექტორის სამი კომპონენტის გაზომვას: ძალის, რომელიც პერპენდიკულარულია გადამწოდის ქოროსი (FZ) და ორი მომენტის ქუროს სიბრტყეში (Mx და My). მგრძობიარე ელემენტების სახით არჩეულია KF5P1-3200A12 ტიპის კილტს (ფოლგის) ტენზორეზისტორები. გადამწოდი, რომელიც დამზადებულია D16-T ალუმინის შენადნობისაგან, რომელსაც აქვს იუნგის მოდულის მაღალი მნიშვნელობა და პატარა კუთრი მასა. ძალურმომენტური ინფორმაციის გადასამუშავებლად ბლოკი განკუთვნილია ტენზოგამაძლიერებლიდან გამოსული სიგნალების გარდასაქმნელად, სამ საინფორმაციო სიგნალად ძალის ვექტორზე, რომელიც მოქმედებს მუშა ორგანოზე. ბლოკი შესრულებულია ცალკე ფილის (პლატის) სახით და ჩაყენებულია ტენზოგამაძლიერებლის კორპუსში. ძალურ მომენტალური შეგრძნების მოწყობილობის ტექნიკური მახასიათებლები ასეთია:

- ძალის ვექტორის ზოგადი კომპონენტები რიცხვი-3 (ღერძული დატვირთვა 506-მდე; განივი ძალები X და Y ღერძებზე 256-მდე);
- გამომავალი სიგნალების დიაპაზონი კომპიუტერში შესასვლელად -5ვ-დან +5-მდე, „SFERA-36“ -ში შესასვლელად 0-დან -5ვმდე;
- ნომინალიდან გამომავალი სიგნალის ცდომილება არა უმეტეს 2%.

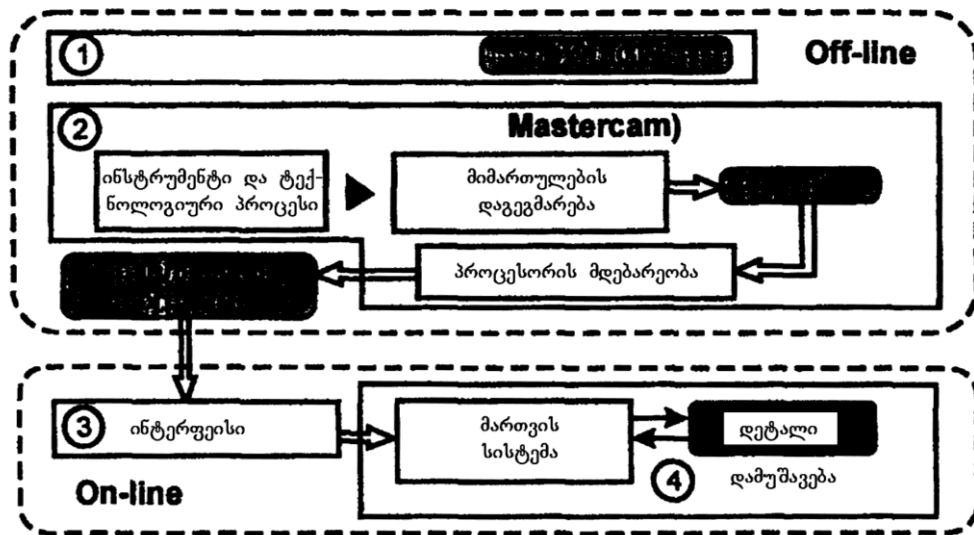
რობოტების მართვისას მექანიკური დამუშავების ოპერაციებზე კომპიუტერის ფუნქცია მდგომარეობს ძალურმომენტური შეგრძნების გადამწოდიდან წამოსული სიგნალების დამუშავებაში და მოძრაობის კორექციის სიგნალების გადამუშავებაში. თუკი ძალისა და მომენტის გადამწოდი შეიცავს ჩადგმულ მიკროპროცესორს, მაშინ ინფორმაციულ კომპიუტერთან გაცვლის ორგანიზება არ არის ძნელი. საწინააღმდეგო შემთხვევაში აუცილებელია მრავალფუნქციური ადაპტორის გამოყენება, რომელიც ახორციელებს ანალოგიური და ციფრული სიგნალების შეთანწყობა კომპიუტერის სისტემურ სალტესთან. ადაპტორი წარმოადგენს ელექტრონულ მოდულს, რომელიც იდგმება IBM PC-ის სისტემაში. ადაპტორი შეიცავს შემდეგ ფუნქციურ კვანძებს:

ანალოგიურ-ციფრულ გარდამქმნელის კომპუტატორით შესასვლელზე, ციფრულ-ანალოგიური გარდამქმნელი, პარალელური შესასვლელ-გამოსასვლელი მოწყობილობა და ტაიმერი. მართვის მოწყობილობის სერიული შესასვლელზე კომპლექტს „Sfera-36“ არ აქვს ანალოგიური ინფორმაციისა და დამუშავების საშუალება. ამიტომ ანალოგიური

შესასვლელი მოდულის სტანდარტულ ბაზაზე ზუსტი მართვა რეალიზებულ იქნა გადამწოდვიდან ანალოგური ძალურმომენტური სიგნალების შეყვანის კონტროლიორით. ანალოგური შესასვლელი მოდულის ექვსი არხი ემსახურება მანიპულატორის მოძრაობის ხარისხთან განლაგებული პოტენციომეტრული გადამწოდვიდან სიგნალების შესვლას. ანალოგურ-ციფრული გარდამქმნელის დანარჩენი ორი არხი, რომლებიც ძირითად რეჟიმში სისტემის ტესტირებისათვის გამოიყენება, გადაყვანილია გარე სიგნალების გადამცემთან კავშირის რეჟიმში. კავშირი „SFERA.“-ს მართვის მოწყობილობასა და კომპიუტერს შორის უზრუნველყოფილია სპეციალური დრაივერის საშუალებით.

მმართველი სიგნალების გაცემის პერიოდი რობოტის ამძრავებზე შეადგენს: „SFERA“-36-სათვის – 64 მ/წმ, ხოლო „SFERA“-56-ისათვის – 16 მკ/წმ. მაშინ შესაბამისად დაყენებული სიხშირეები გადაადგილებების ბრძანებების გათვლისთვის ტოლია 15,63 ც და 62,5 ჰც სიხშირის ეს დიაპაზონი ზღუდავს გარე ძალური ზემოქმედებების სპექტრს, რომელთა გავლენის ადაპტირებას სისტემა ეფექტურად ახერხებს, რობოტის მიერ შესრულებული ოპერაციების პროცესში მექანიკური დამუშავების ოპერაციების დროს, რომელთათვისაც დამახასიათებელია პროპორციული დამოკიდებულება ჭრის ძალასა და ინსტრუმენტის მიწოდების სიჩქარეს შორის, მითითებული შეზღუდვა განსაზღვრავს კონტურულ დასაშვებ მოძრაობის სიჩქარეს.

სპეციალურად შემუშავებული მმართველი პროგრამების მომზადების კომპლექსის მეშვეობით ხდება ტექნოლოგიური რობოტის მოძრაობის ავტომატიზებულად პროგრამირება [2], რომლის ბლოკ-სქემა წარმოდგენილია ნახ. 4.3-ზე.



ნახ. 4.3. პროგრამულ მოძრაობების კომპლექსის ბლოკ-სქემა

ამგვარად, მექანიკური დამუშავების მოცემული რობოტოტექნიკური კომპლექსი საშუალებას იძლევა რეალიზებული იქნას CAD/CAM ტიპის საწარმოო სისტემის აგების კონცეფცია, ნაკეთობის ავტომატიზებული პროექტირება და მისი ავტომატიზებული დამზადება ინტეგრირებული არის ერთიან სისტემაში და მომხმარებლის ამოცანა მდგომარეობს მხოლოდ დეტალის საწყისი კომპიუტერული მოდელის მომზადებაში. შეიძლება გატარდეს ანალოგია ელემენტების გაერთიანების მექატრონულ პრინციპებსა და CAD/CAM კონცეფციას შორის, სადაც ინტეგრაციის მეთოდოლოგია განხორციელებულია მაღალ სისტემურ დონეზე.

მანიპულატორის მოძრაობის პროგრამირების ამოცანა შეიძლება გადაიჭრას ოთხ ძირითად ეტაპად, ამასთან პირველი ორი სრულდება ზედა დონის ელექტროგამომოვლელ მანქანაზე, რაც საშუალებას იძლევა არ იქნას გამორთული რობოტოტექნოლოგიური კომპლექსი საწარმოო პროცესიდან.

**ეტაპი 1. დეტალის კომპიუტერული მოდელის დამუშავება პროგრამა Auto CAD-ში.** ამ შემთხვევაში როგორც კონსტრუქტორის, ავტომატური პროექტირების სისტემის საშუალებით სრულდება დასამუშავებელი დეტალის ნახაზი, ან ბიბლიოთეკიდან აირჩევა სტანდარტული გრაფიკული მოდელი. შერჩეული კომპიუტერული მოდელი ჩაიწერება ფაილში DXF ან IGES ფორმატში.



## ეტაპი 2. რობოტოტექნოლოგიური სისტემის მოძრაობის დაგეგმვა

ბაზური პროგრამული უზრუნველყოფის სახით გამოყენებულია ინტერაქტიული პაკეტი MASTERCAM-ი, რომელიც საშუალებას იძლევა, დიალოგის რეჟიმში მისცეს მუშა ორგანოს სასურველი ორიენტაცია და მოძრაობის ტრაექტორია დეკარტის საკოორდინაციო სისტემაში, აგრეთვე მოძრაობის კანონი დროში და ბრძანებები დამხმარე ტექნოლოგიურ მოწყობილობაზე. ამასთან, შეიძლება გამოყენებული იქნეს შემოწმების და ოპტიმიზაციის პროცედურები, რომლებიც ითვალისწინებს კინემატიკური, დინამიკური, ენერგეტიკული და სხვა კონკრეტული მანიპულატორის თავისებურებებს. მიღებული ფაილი NCI-ს ფორმატში შემდგომში მიეწოდება დასამუშავებლად გუშაგპროცესორზე. გუშაგპროცესორი არის სპეციალური პროგრამა, რომელიც ახდენს მმართველი პროგრამის ავტომატურ გენერირებას, რომელიც მზად არის ჩასატვირთად და რობოტის მოწყობილობის მიერ მართვის შესასრულებლად (მოცემულ სისტემაში შინაგან ენერგიად გამოიყენება ARPS).

## ეტაპი 3. მმართველი პროგრამის ავტომატური ჩატვირთვა

ამ ეტაპზე ხორციელდება ოპერატიული ჩატვირთვა მართვის „SFERA“-36 მოწყობილობაში. ამასთან, მართვის საყრდენი და კომპიუტერი შეერთებულია თანამიმდევრობითი გადამყვანით RS-232 პროტოკოლით. [გვ. 56–60].

## ეტაპი 4. პროგრამების შესრულება

დასაწყისისათვის პროგრამების შესასრულებლად აუცილებელია საკოორდინატო სისტემის მიზმა რობოტის სამუშაო ზონაში დაისვას საწყისი წერტილი დისტანციური სწავლების რეჟიმში. შემდეგ ხდება ფუნქციური მოძრაობის ავტომატური შესრულება, ამასთან მუშა ორგანოს კონტურული სიჩქარის რეგულირების ხარჯზე ჭრის ძალა შენარჩუნებულია მოცემულ დონეზე.

#### 4.1. ტექნოლოგიური მანქანები–ჰექსაპოდები

მექატრონული მიდგომა საფუძვლად უდევს მანქანებს, რომლებიც კონცეპტუალურად ახალ პრინციპზეა აგებული. ესენია, ე. წ. ჰექსაპოდები. ამ ტექნოლოგიურ მანქანებს (ჩარხებს, კოორდინატულ–საზომ მანქანებს, რობოტებს) აქვთ ღეროვანი კონსტრუქცია და იწყობა წრფივი მოძრაობის მექატრონულ მოდულებზე. მათი კონსტრუქციული სქემის საფუძველს წარმოადგენს სტიუარტის პლატფორმა [7, 36, 49].

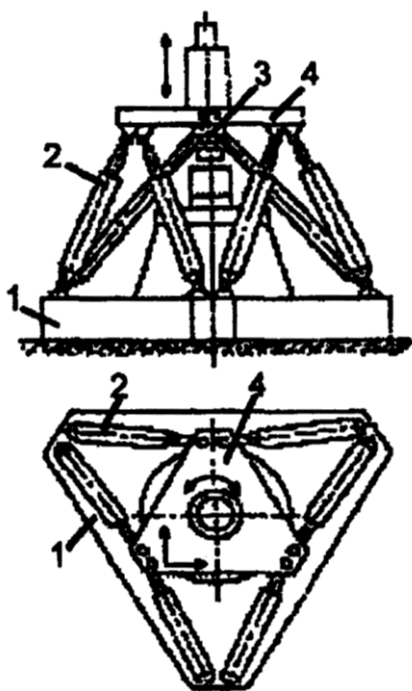
ჩარხი–ჰექსაპოდი (ნახ. 4.4) შესრულებულია წრფივი მექატრონული მოდულების (2) ბაზაზე, რომელიც ახორციელებს ხრახნების წრფივ (ღერძულ) მოძრაობას, ბურთულოვან–ხრახნული გადაცემის მეშვეობით. ბურთულოვან–ხრახნული გადაცემის ერთი ბოლო შეერთებულია bezmuftovim Sarnir ქვედა პლატფორმასთან (1), მეორე კი– მოძრავ ზედა პლატფორმასთან (4), რომელზეც განლაგებულია მუშა ორგანო–ინსტრუმენტული თავი (3). ხრახნის მდებარეობის მართვით (ნახ. 4.7) შეიძლება უზრუნველყოფილი იქნეს მუშა ორგანოს სივრცითი გადაადგილება ექვსი თავისუფლების ხარისხით (აქედანაა ჩარხის დასახელება: „ჰექსა“ – ნიშნავს „ექვსს“ ბერძნულად). ჰექსაპოდური მანქანების ძირითად უპირატესობას წარმოადგენს: წარმოების მომზადებისათვის საჭირო დროის შემცირება, რენტაბელობის გაზრდა, მისი დამამუშავებელი, მოსანიშნი და საზომი ფუნქციების ერთიან მექატრონულ სისტემაში გაერთიანების ხარჯზე; გაზომვისა და დამუშავების მაღალი სიზუსტე, რომელიც უზრუნველყოფილია ღეროვანი მექანიზმების ხუთჯერ გაზრდილი სიხისტით, უკუკავშირის პრეცეზიული გადამწოდებისა და ლაზერული საზომი სისტემების გამოყენებით, კორექციის კომპიუტერული მეთოდების შემოღებით (მაგალითად, სითბური ზემოქმედება);

– გაზრდილი მოძრაობის სიჩქარე (სწრაფი გადაადგილების სიჩქარე აღწევს 10 მ/წმ, მუშა მოძრაობისა 2,5 მ/წმ–მდე);

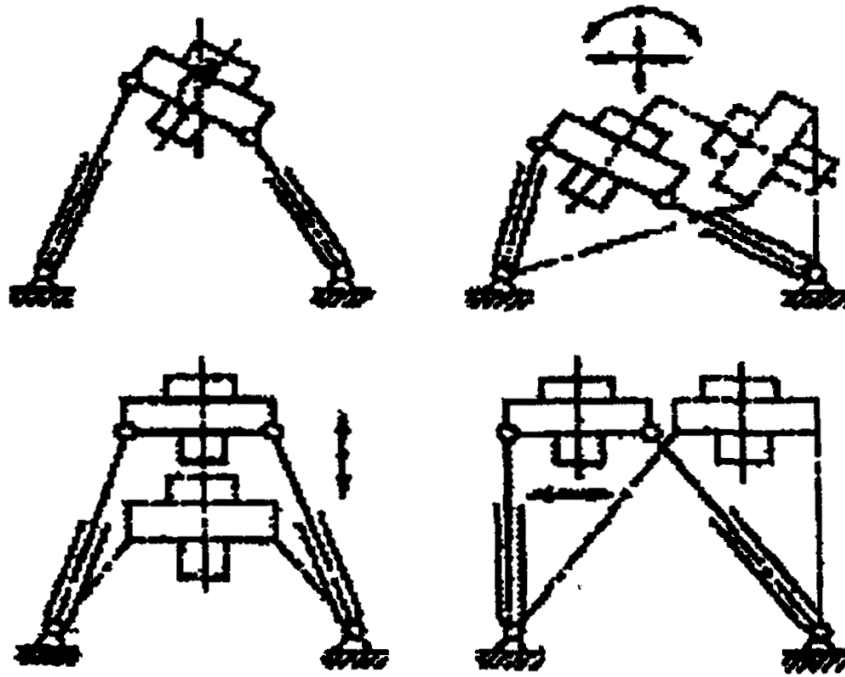
– მიმმართველების არარსებობა (კონსტრუქციის მზიდ ელემენტებად გამოიყენება ამძრავი მექანიზმები), რის გამოც გაუმჯობესებულია მასგაბარიტული მახასიათებლები და შემცირებულია მასალის რაოდენობა.

– მექატრონული კვანძების უნიფიკაციის მაღალი ხარისხი, რომელიც უზრუნველყოფს მანქანის აწყობის, დამზადების ტექნოლოგიურობას და კონსტრუქციულ მოქნილობას;

– მოძრაობის მართვის მაღალი ხარისხი მიიღწევა მექანიზმების დაბალი ინერციულობით, წრფივი მექატრონული მოძრაობის მოდულებით, როგორც მართვის ობიექტების გამოყენებით, ავტომატიზებული მომზადების მეთოდებისა და მმართველი პროგრამების რეალურ დროში შესრულებით, აგრეთვე „ადამიანი–მანქანა“ ინტერფეისის არსებობით.



ნახ. 4.4. ჩარხი ჰექსაპოდის საერთო ხედი



ნახ. 4.5. ჩარხი ჰექსაპოდის კონფიგურაცია

აღნიშნული ტექნოლოგიური მოდულები განკუთვნილია ნამზადების ფასონური დამუშავებისათვის დიდი სიზუსტით, ფრეზვის, ხეხვის, ბურღვის, გაპრიალების, გრავირების, გამოჩარხვისა და მონიშვნის ოპერაციების შესასრულებლად. ტექნოლოგიური მოდულების მუშა ზონა ვარირებს სხვადასხვა მოდულისათვის შემდეგ დიაპაზონში: X გასწვრივ 500 მმ–დან 3000 მმ–მდე; Y გასწვრივ 400 მმ–დან 1400 მმ–მდე; Z გასწვრივ 350მმ–დან 750მმ–მდე. მოძრავი პლატფორმის მობრუნების მაქსიმალური კუთხე სამივე ღერძის მიმართ შეადგენს, სერიულ მოდულებში  $30^{\circ}$ , მისი მოძრაობის სიჩქარე იმართება პროგრამულად ინტერვალში 0,01–120 მმ/წმ.

ჰექსაპოდებს აქვთ ფრიად ეფექტური მასგაბარიტული მონაცემები ტრადიციული შეთანწყობის ჩარხებთან შედარებით. მაგალითად, TM-500-ის გაბარიტებისას  $180*1550*2300$ მმ აქვს, მასა 2800კგ, ხოლო უფრო მძლავრ TM-3000-ს აქვს გაბარიტები  $5000*3500*3800$  მმ და მასა 6500 კგ. ტექნოლოგიურ მოდულზე ყენდება „მოტორ–შპინდელი“ სიმძლავრით 1,5 კვტ–დან 5 კვტ–მდე ბრუნვის რეგულირებადი სიხშირით დიაპაზონში 200–1200 ბრ/წთ, ან 600–24000 ბრ/წთ.

კოორდინატული საზომი მანქანები ასრულებენ დეტალების ავტომატურ გაზომვებს და ზომების კონტროლს. გაზომვების ცდომილებები ბაზური შესრულების

მანქანებისათვის არ აღემატება 0.8 მმ-ს (წრფივი გაზომვები, ზომა L=300 მმ) და 1.5 მმ სივრცული გაზომვებისათვის (L=250 მმ). სპეციალურ პრეზერვიულ მანქანებში ეს მონაცემები აღწევს შესაბამისად 0.3 მმ და 0.5 მმ (ზომებისათვის L=500 მმ). გაზომვები სრულდება სპეციალური თავი-საცეცის მეშვეობით, რომელიც აღჭურვილია მექანიკური და დენის შეხების გადამწოდებით. კონტაქტური ძალა დენური შეხებისას არ აღემატება 0.0003 ნ-ს, რაც საშუალებას იძლევა გაიზომოს მოქნილი და მცირესტრუქტურის დეტალები.

ტექნოლოგიური მანქანა-ჰექსაპოდების შემდგომი განვითარება დაკავშირებულია ინტელექტუალური წრფივი მექატრონული მოდულების გამოყენებასთან და ასევე ეფექტური მათემატიკური და პროგრამული უზრუნველყოფის შექმნასთან, მათი მოძრაობის პლანირებისა და მართვის ამოცანების ამოსახსნელად რეალურ დროში.

#### 4.2. სატრანსპორტო მექატრონული საშუალებები

მექატრონული მოდულები უფრო და უფრო ფართოდ გამოიყენება სხვადასხვა სატრანსპორტო სისტემაში. მოცემულ სახელმძღვანელოს შემოვიფარგლებით მხოლოდ მსუბუქი სატრანსპორტო საშუალებების ანალიზით, რომლებსაც აქვთ ელექტროამძრავები (ხანდახან მათ უწოდებენ არატრადიციულებს). ამ ახალი სატრანსპორტო საშუალებების ჯგუფს განეკუთვნება ავტონომიური კვების წყაროებით აღჭურვილი ელექტროავტომობილები, ელექტროველოსიპედები, როლერები, ინვალიდების ეტლები, ელექტრომობილები და სხვ.

მცირე სატრანსპორტო საშუალებები წარმოადგენს ალტერნატივას შიგაწვის ძრავის მქონე ტრანსპორტის მიმართ და გამოიყენება ეკოლოგიურად სუფთა ზონებში (სამკურნალო, ტურისტული, საგამოფენო, პარკებსა და გოლფის კომპლექსებში), ასევე სავაჭრო და სასაწყობო ნაგებობებში.

განვიხილოთ ელექტროველოსიპედის საცდელი ნიმუშის ტექნიკური მონაცემები:

- მაქსიმალური სიჩქარე 20 კმ/სთ;
- ამძრავის ნომინალური სიმძლავრე 160 ვტ;
- ბრუნვის მაქსიმალური სიხშირე 160 ბრ/წთ;

- მაქსიმალური მგრეხავი მომენტი 18 ნ.მ;
- ძრავის მასა 4,7კგ;
- აკუმულატორული ბატარეა 36 ვ, 6 ასთ;
- მაქსიმალური დატვირთვა 120 კგ;
- მოძრაობა ავტონომიურ რეჟიმში 20 კგ;

მსუბუქი სატრანსპორტო საშუალებების შექმნის საფუძველს წარმოადგენს „ძრავ-ბორბალი“ ტიპის მექატრონული მოდულები მაღალმომენტიანი ელექტროძრავების ბაზაზე. ცხრილი 3 მოყვანილია მექატრონული მოდულების ტექნიკური მახასიათებლები მსუბუქი სატრანსპორტო საშუალებებისათვის.

## II ნაწილი

### შესავალი

ლექციების შემოთავაზებული კონსპექტის II ნაწილში მოცემულია მონაცემები მექანიკური ობიექტების აგების პრინციპების, ფუნქციონირების საფუძვლების და მექანიკური ობიექტების მოძრაობის მართვის სისტემების თვისებების შესახებ მექატრონული სისტემების შემადგენლობაში ძირითად არსებით ელემენტს წარმოადგენს მმართველი კომპიუტერი. განხილულია საკითხები კომპიუტერული მართვის სისტემების ფუნქციონირებისა რეალურ დროში.

მოცემულია თეორიის საფუძვლები და დინამიკური თვისებების კვლევის მათემატიკური მეთოდები ასეთი სისტემების, დაფუძნებულს ცხაურულ ფუნქციებზე, სხვაობით ტოლობებზე და ლაპლასის დისკრეტულ გარდაქმნაზე. განხილულია სინთეზის მეთოდები კომპიუტერული მართვის სისტემების რეგულატორების კომპიუტერის საშუალებით, დაფუძნებულს დისკრეტული გადაცემის ფუნქციების ცნებებზე, ფსევდოსიხშირებზე და სიხშირულ მახასიათებლებზე. შემოთავაზებულია მეთოდები სხვაობითი ტოლობების და ალგორითმების მიღებისა, კომპიუტერული მართვის სისტემების პროგრამულად რეალიზებადი რეგულატორებისა. განხილულია კომპიუტერული მართვის სისტემების მათემატიკური მოდელირების საკითხები და კომპიუტერის გამოყენებით მრავალკოორდინატიანი სისტემების მართვის ორგანიზაცია, აგრეთვე პროგნოზირებადი ფილტრების გამოყენება არაპროგრამირებადი და შემთხვევითი შემადგენლებისათვის შემავალი ზემოქმედებისას.

იგულისხმება, რომ მომხმარებლისათვის ცნობილია ავტომატური მართვის თეორია, რობოტოტექნიკის საფუძვლები, ელექტრომექანიკა და მექატრონიკა.

## თავი 5 ძირითადი ცნებები და განსაზღვრებები მექატრონული სისტემების კომპიუტერული მართვის სფეროში

### 1. კომპიუტერული მართვით მექატრონული სისტემების დანიშნულება და მოქმედების პრინციპი

უპირველეს ყოვლისა, უნდა აღვნიშნოთ, რომ მოცემულ ლექციების კურსში განხილული იქნება ავტომატური (ადამიანის მონაწილეობის გარეშე) და ნახევრად ავტომატური (ადამიანის მონაწილეობით) მექანიკური ობიექტების და სისტემების მოძრაობის მართვა. ასეთ ობიექტებს მიეკუთვნება მექანიკური კომპონენტების სხვადასხვაგვარი ტექნოლოგიური მანქანების, ჩარხებისა და რობოტების ჩათვლით, მექანიკური სისტემები თანამედროვე სამედიცინო ტექნიკის, წყალქვეშა და კოსმოსური აპარატები, კომპიუტერული ტექნიკის კომპონენტები, მაგალითად, ვინჩესტერები და პრინტერები და მრავალი სხვ.

მივცეთ განმარტება ზოგიერთ ძირითად ცნებას. მართვა წარმოადგენს მოქმედებების ერთობლიობას, რომელიც მიმართულია სამართავი ობიექტის ფუნქციონირების უზრუნველსაყოფად შესაბამისად, მართვის მიზანი დაკავშირებულია სასურველ ცვლილებებთან ობიექტის გამომავალ სიდიდეებთან მისი მართვის დროს. მაგალითად, ელექტროძრავის ლილვის მობრუნების კუთხის მართვისას მართვის მიზნად შეიძლება დავისახოთ მიღწევა მინიმალური სხვაობისა მოთხოვნილი მობრუნების კუთხესა და ამ ელექტროძრავის ლილვის ფაქტური მობრუნებისა. მართვის მიზნის მისაღწევად მართვის ობიექტს მიეწოდება მმართველი ზემოქმედება. იგი ფორმირდება მმართველი მოწყობილობის მიერ, სამართავი ობიექტის თვისებების გათვალისწინება იმგვარად, რომ მოხდეს კომპენსირება გარე ხელის შემშლელის ნეგატიურ აღმგზნები ზემოქმედებისა. მართვის მოწყობილობა ფუნქციონირებს გარედან შემომავალი მმართველი ზემოქმედების საფუძველზე და ყველაზე ხშირად ითვალისწინებს მართვის ობიექტის მიმდინარე მდგომარეობას. ერთობლიობა ურთიერთქმედებების მართვის მოწყობილობისა და სამართავი ობიექტისა, წარმოადგენს ავტომატური მართვის სისტემას. იმისათვის, რომ მართვის მოწყობილობამ შექმნას აუცილებელი ძალები, რომელთაც ექნებათ საშუალება შეცვალონ მართვის ობიექტის მდგომარეობა, სისტემაში შემოაქვთ შემსრულებელი მოწყობილობები. მაგალითად, ის შეიძლება წარმოადგენდეს ელექტროძრავის მექანიკური გადამცემით და სიმძლავრის გამაძლიერებლით, რომელიც კვების წყაროს ენერგიას გარდაქმნის ძრავის როტორის მოძრაობის ენერგიად.



განსახილველი სამართავი ობიექტების მოძრაობის სამართავად ამჟამად ფართოდ გამოიყენება მმართველი კომპიუტერები და პროგრამირებადი კონტროლერები, რომლებიც ახდენენ კომპიუტერული მართვის რეალიზებას. ეს მართვა ანალოგური მართვისაგან იმით განსხვავდება, რომ მმართველი ზემოქმედების ფორმირება, რომელიც მიეწოდება უწყვეტი მუშაობის რეჟიმის მქონე შემსრულებელ მოწყობილობას, მაგალითად ელექტროძრავას, ხორციელდება მმართველ კომპიუტერში პროგრამის შესრულების შედეგად.

კომპიუტერული მართვის ობიექტებად ჩვენ განვიხილავთ მექატრონულ მოწყობილობებს და სისტემებს, რომლებიც წარმოიქმნება გაერთიანების სხვადასხვა განსხვავებული კომპონენტების ურთიერთშეთანხმებული მოქმედების შედეგად, რომელთაც აქვთ განსხვავებული ფიზიკური ბუნება: მექანიკური, ელექტრული, პნევმატური, ჰიდრავლიკური, ელექტრონული და სხვა ელემენტებისაგან. ასეთ გაერთიანებას საფუძვლად უდევს სინერჯის (ბერძ.) ცნება, რომელიც წარმოადგენს შეთანხმებულ ერთობლივ მოქმედებას სისტემის კომპონენტებისას, რომელიც მიმართულია საერთო მიზნის მისაღწევად.

სინერჯიული გაერთიანება ერთ მექატრონულ სისტემაში ზემოთჩამოთვლილი კომპონენტებისა მიმართული მთავარი მიზნის მისაღწევად, რათა მივიღოთ უფრო მეტი ტექნიკური და ეკონომიკური ეფექტი და კონკურენტუნარიანობა შესამუშავებელი ტექნიკური სისტემისა. ამრიგად, ტექნიკური სისტემის ხარისხი მნიშვნელოვნად დამოკიდებულია კომპონენტების სინერჯიული ერთიანობის განხორციელების ხელოვნებისგან, რომელსაც მივალწევთ მექატრონული სისტემის შექმნისას. პრინციპულად მნიშვნელოვანია ის, რომ მექატრონიკა მოწოდებულია მაღალეფექტური ტექნიკური სისტემების შესაქმნელად მოძრაობის კომპიუტერული მოძრაობის მართვით. ეს მთლიანად შეესაბამება თანამედროვე შეხედულებებს მექატრონიკაზე როგორც ტექნიკური კიბერნეტიკის კომპიუტერული განვითარების პარადიგმას.

როგორც თქვენთვის უკვე ცნობილია კიბერნეტიკის ფუძემდებელმა ნორბერტ ვინერმა ჯერ კიდევ 1954 წ. მოგვცა მისი განვითარების პროგნოზი და მიგვითითა იმაზე, რომ ეგმ იქნება აქტიურად გამოყენებული შემსრულებელი მექანიზმების სამართავად. ჩვენ დღეს ვართ იმის მომსწრეები, რომ ეს გენიალური წინასწარი ხედვა მთლიანად ახდა.

უნდა აღინიშნოს, რომ ციფრული ეგმ-ის დანერგვა მოძრაობის მართვის სისტემებში დაიწყო უკვე 1955 წელს. ე. ი. პირველი კომპიუტერების გამოჩენისთანავე. პირდაპირი ციფრული მართვის მცდელობა უკვე 1962 წ. იქნა განხორციელებული. მაგრამ, იმ დროს კომპიუტერები იყო ძალიან დიდი მოცულობის და ძვირადღირებული, ამიტომ მაშინ ფართო გავრცელება (დანერგვა) კომპიუტერულმა მართვამ ვერ მიიღო. შემდეგ დაახლოებით 1967 წელს მოხდა მინიკომპიუტერების ტექნიკის ერა, რამაც მიგვიყვანა კომპიუტერული მართვისადმი ინტერესის მნიშვნელოვან ზრდამდე. 1972 წლის დასაწყისიდან დაინერგა მიკროპროცესორული ტექნიკის მოძრაობის მართვის

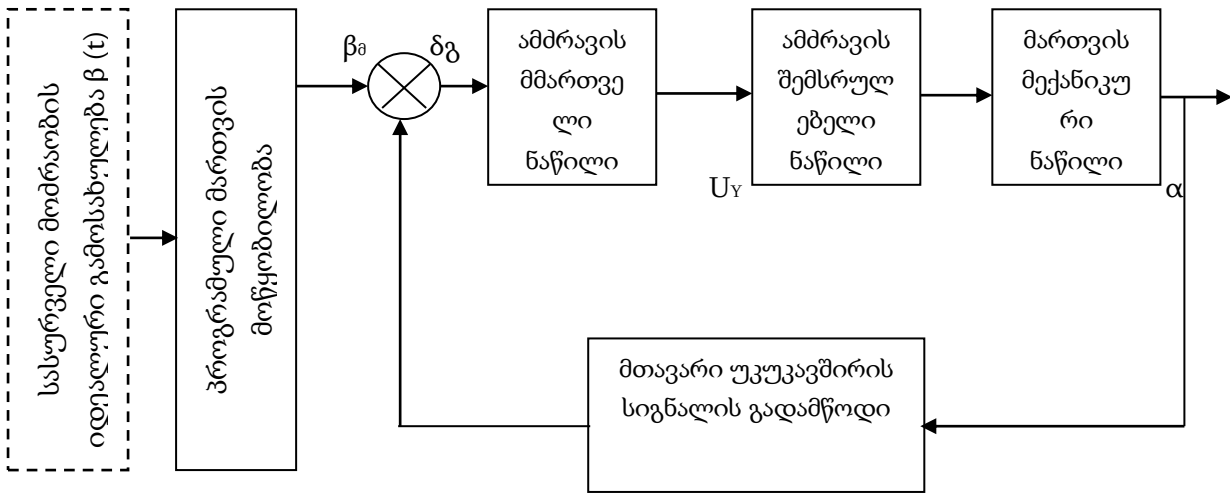
სისტემებში და ბოლოს, 1986 წლის დასაწყისიდან უკვე შეინიშნება სულ უფრო მზარდი, ინტენსიური განვითარება მოძრაობის მართვის სისტემებისა მიკრო ეგმ-ის და მიკროკონტროლერების ფართო დანერგვის საფუძველზე. ახლანდელ დროში უკვე ძნელია წარმოვიდგინოთ თანამედროვე მართვის ტექნიკა კომპიუტერის და პროგრამირებადი კონტროლერების გარეშე.

მექატრონული მოწყობილობებისა და სისტემების განვითარების ტენდენციას წარმოადგენს კომპონენტების მინიმიზაცია, მათი კონსტრუქციული და ფუნქციური ინტეგრაცია, შეცვლა ყველგან სადაც ეს შესაძლებელია მექანიკური კავშირებისა ინფორმაციული კავშირებით, ეს შესაძლებელი გახდა კომპიუტერული მოწყობილობების და თანამედროვე მართვის მეთოდების ფართოდ დანერგვის ხარჯზე.

მექატრონული სისტემების მნიშვნელოვანი თავისებურება მდგომარეობს იმაში, რომ მართვის საბოლოო ობიექტს წარმოადგენს მექანიკური ობიექტი, მაგალითად ჩარხის ინსტრუმენტი ან რობოტის მუშა ორგანო, ამიტომ აქ საუბარია მექანიკური ობიექტის მოძრაობის კომპიუტერულ მართვაზე მექატრონული სისტემის შემადგენლობაში, როგორც მოძრაობის ავტომატურ მართვაზე კომპიუტერების ან კონტროლერების გამოყენებით.

თუ მართვის ობიექტს აქვს თავისუფლების ერთი ხარისხი, მაშინ მისი მოძრაობის მართვის სისტემა იქნება ერთკოორდინატიანი. მაშინ ის უზრუნველყოფს დროში მხოლოდ ერთი ცვლადის ცვლილებას სასურველი კანონის მიხედვით, მაგალითად, მის მდებარეობას. უნდა აღვნიშნოთ, რომ ობიექტის მოძრაობის სიჩქარე და აჩქარება არ შეიძლება იცვლებოდეს თვითნებურად, რადგან მდებარეობას, სიჩქარესა და აჩქარებას შორის არსებობენ ცნობილი კავშირები. თუ მართვის ობიექტს აქვს რამდენიმე თავისუფლების ხარისხი, მაშინ მისი მოძრაობის სამართავად საჭირო იქნება შედარებით უფრო რთული მრავალკოორდინატიანი მართვის სისტემა. მაგალითად, უნივერსალური რობოტის მანიპულატორის მუშა ორგანოს გააჩნია ექვსი თავისუფლების ხარისხი, მისი სივრცეში გადასაადგილებლად აუცილებელია ექვსკოორდინატიანი სისტემა, რომელმაც უნდა მართოს ექვსი ამძრავი, რომელთაგანაც თითოეული უზრუნველყოფს მანიპულატორის შესაბამისი მოძრაობის ხარისხის მოძრაობას. იგივე შეიძლება ითქვას მრავალკოორდინატიანი ჩარხის შესახებაც. მაგალითად, ხუთკოორდინატიანი ჩარხის ინსტრუმენტის მოძრაობის სამართავად საჭირო იქნება ისეთი სისტემა, რომელიც მართავს ხუთ ამძრავს.

მექანიკური ობიექტის მართვის კომპიუტერული მართვის სისტემა, რომელსაც აქვს ერთი თავისუფლების ხარისხი, იგება როგორც მიმყოლი სისტემა, გადახრით მართვის პრინციპის შესაბამისად. როგორც წესი, სარეგულირებელ ცვლადს წარმოადგენს მექანიკური ობიექტის მდებარეობა. ასეთი სისტემის მაგალითად შეიძლება შეიძლება განვიხილოთ მიმყოლი ამძრავი, რომლის რეგულირების კონტურში იმყოფება, სამართავი მექანიკური ობიექტი, ამძრავის შემსრულებელი და მმართველი ნაწილი, მთავარი უკუკავშირის სიგნალის გადამწოდები (ნახ. 5.1).



ნახ. 5-1. მექანიკური ობიექტის მოძრაობის კომპიუტერული მართვის სისტემის სტრუქტურული სქემა

ძალიან ხშირად გამოიყენება ე. წ. პროგრამული მართვა, რომლის გამოყენების დროსაც თავიდან ფორმირდება და კომპიუტერულ მეხსიერებაში იწერება მმართველი პროგრამა, რომელიც შეიცავს სამართავი ობიექტის სასურველი მოძრაობის (გადაადგილების) აღწერას. შემდეგ ეს პროგრამა შესრულდება მართვის მოწყობილობით, რომელიც აგებულია მმართველი კომპიუტერის საფუძველზე. ამავე დროს ფორმირდება და ამძრავის შესასვლელს გადაეცემა მმართველი ზემოქმედება, რომელიც გამოთვლილია მართვის ობიექტის რეგულირებადი ცვლადის სასურველი მნიშვნელობის გათვალისწინებით. ამძრავის მმართველი აგრეთვე შეიძლება შეიცავდეს მმართველ კომპიუტერს ან პროგრამირებად მიკროკონტროლერს. კომპიუტერული მართვის სხვა ვარიანტი წარმოადგენს ნახევრად ავტომატურ მართვას. ამ შემთხვევაში მმართველი ზემოქმედება ფორმირდება. ადამიანი - ოპერატორი მართავს სახელურის საშუალებით. მართვის რეალიზაციის შედეგად უნდა იქნეს მიღწეული მართვის მიზანი, რაც წარმოადგენს განთანხმების მნიშვნელობის აღმოფხვრას რეგულირების ცვლადის რეალურ და სასურველ სიდიდეებს შორის. მაგალითად, შეიძლება დავისახოთ მიზნად, აღმოფხვრათ განთანხმება  $\delta$ , რომელიც განისაზღვრება ტოლობით:

$$\delta = \beta - \alpha \rightarrow 0 \quad (5-1)$$

სადაც  $\beta$  - სასურველი კუთხეა მექანიკური ობიექტის მდებარეობისა მაგალითად მანიპულატორის რგოლი;  $\alpha$  - ფაქტიური მდებარეობის კუთხეა მანიპულატორის რგოლისა;  $\beta$  წარმოადგენს სასურველი მოძრაობის იდეალურ სახეს, რომელიც იქმნება სისტემის დამპროექტებლის ან პროგრამისტის თავში, რომელიც ქმნის მმართველ პროგრამას. ამ იდეალურ სახეს შეესაბამება ფიზიკურად რეალური მმართველი ზემოქმედება  $\beta_a$ . იგი წარმოიქმნება მმართველი პროგრამის შესრულების შედეგად კომპიუტერში ან სხვა პროგრამული მართვის მოწყობილობაში, შესაბამისად ტოლობისა

$$\beta_a = K_\beta \beta$$

სადაც  $K_\beta$  - პროპორციულობის კოეფიციენტი;

პროპორციულობის კოეფიციენტი  $K_\beta$  -ის განზომილების პოვნა არ წარმოადგენს დიდ სირთულეს. მაგალითად, თუ  $\beta$  ახასიათებს გადაადგილებას და იზომება მმ-ში, ხოლო  $\beta_a$  აღწერს ძაბვას და იზომება ვოლტებში, მაშინ  $K_\beta$  -ს განზომილება განისაზღვრება როგორც ვ/მმ. ხოლო იმისათვის, რომ გავარკვიოთ კოეფიციენტი  $K_\beta$  მნიშვნელობა და შევქმნათ მმართველი პროგრამა, უნდა ვიცოდეთ იმ გადამწოდის მახასიათებლები და თვისებები, რომელიც ზომავს მართვის სისტემის სარეგულირებელ პარამეტრს.

შესაქმნელი მიმყოლი სისტემის მნიშვნელოვანი თავისებურება მდგომარეობს იმაში, რომ გარკვეული მიზეზის გამო უშუალოდ განვსაზღვროთ  $\beta$ ,  $\alpha$  და, რა თქმა უნდა, განთანხმება  $\delta$  შეუძლებელია. აუცილებელია ვისარგებლოთ მთვარი უკუკავშირის გადამწოდით და მოვახდინოთ ფორმირება სიდიდისა  $\alpha_0$ , რომელიც შეიცავს ინფორმაციას  $\alpha$  ობიექტის ფაქტიური მდებარეობისა, შესაბამისად ტოლობისა:

$$\alpha_0 = K_\alpha \alpha$$

სადაც  $K_\alpha$  - პროპორციულობის კოეფიციენტი, რომლის მნიშვნელობა დამოკიდებულია გამოყენებული გადამწოდის თვისებებზე. მაგალითად, თუ ობიექტის გადაადგილებისას 100 მმ-ზე გადამწოდი ახდენს თავის გამოსასვლელზე ციფრული კოდის ფორმირებას, რომელიც შეესაბამება მთელ ათობით რიცხვს, რომელიც ტოლია 1000, მაშინ  $K_\alpha = 100$  ერთეულს/მმ.

შედეგად მართვის სისტემის აპარატურული და პროგრამული საშუალებების დახმარებით გვეძლევა საშუალება, განვსაზღვროთ არა განთანხმება  $\delta$ , არამედ, განთანხმება

$$\delta_g = \beta_a - \alpha_0$$

რომ მივალწიოთ მიზანს (1-1) აუცილებელია შევასრულოთ ორი პირობა. უპირველეს ყოვლისა სისტემის მმართველ ნაწილში ისე უნდა მოვახდინოთ მმართველი ზემოქმედების  $U_a$  - ის ფორმირება  $\delta_g$  განთანხმებისგან, რომ უზრუნველყოთ:

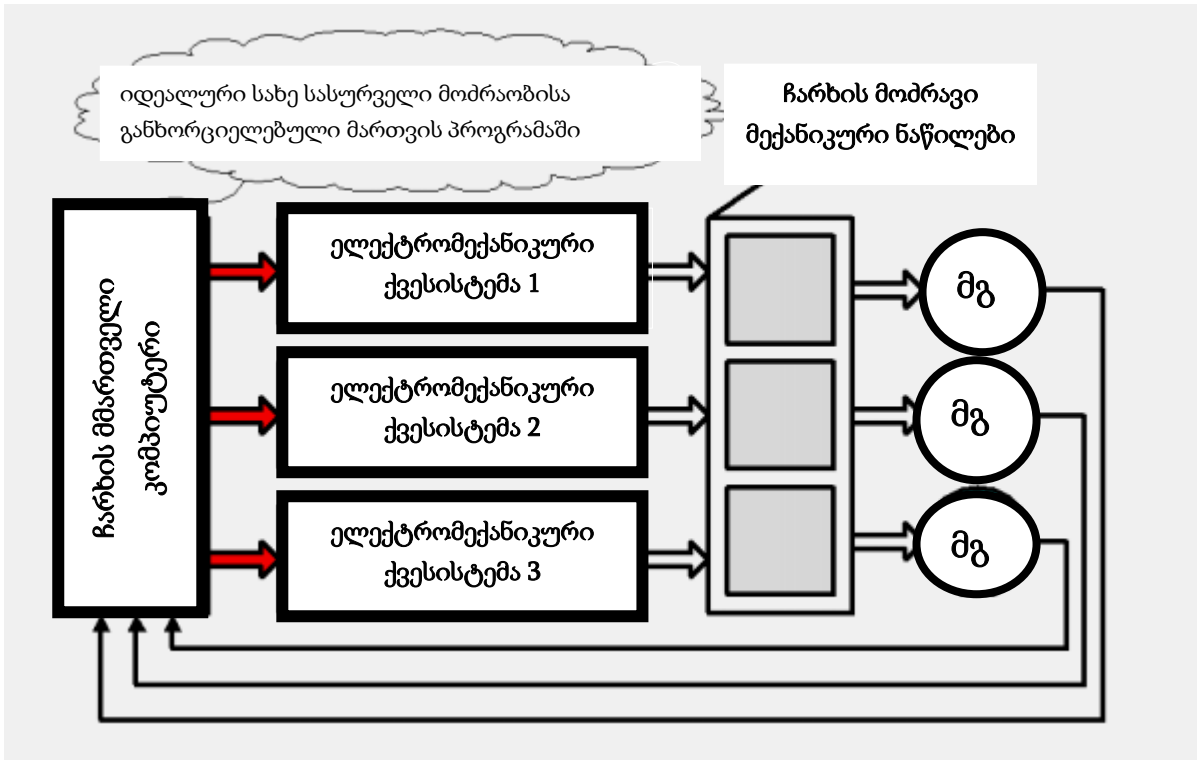
$\delta_g \rightarrow 0$ . ასეთი ამოცანა წარმოადგენს ტიპურს მოთვალთვალე სისტემების აგებისას და იქნება დაწვრილებით განხილული შემდეგ ლექციებზე. მეორეც, აუცილებელია მოვახდინოთ გათანა

$$K_{\beta} = K_{\alpha}$$

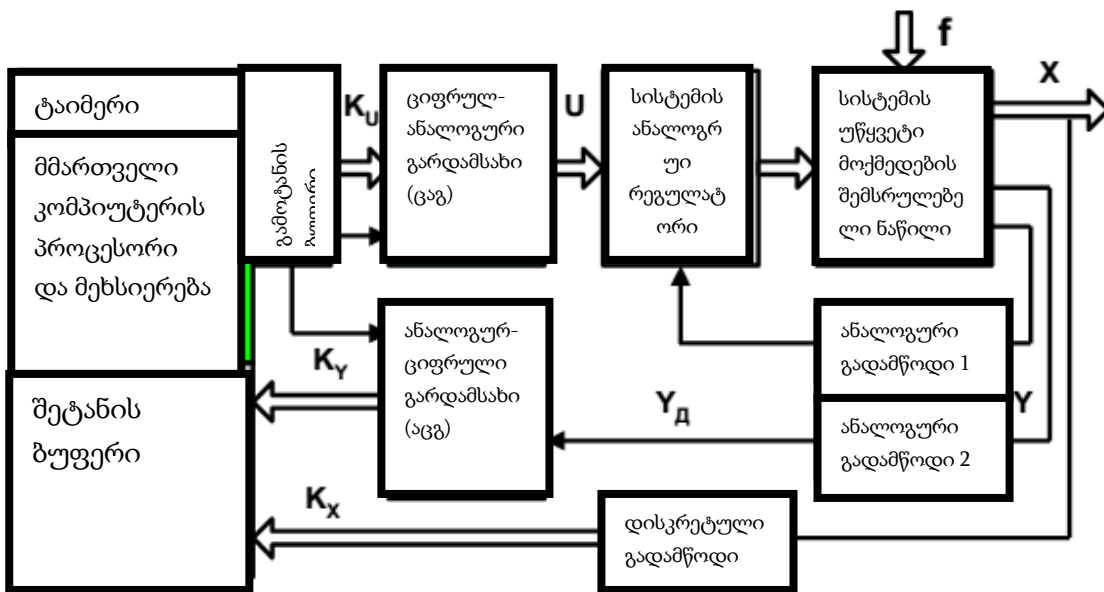
(5-2)

მაგალითად, ობიექტის გადაადგილების დაპროგრამებისას მისი გადაადგილება 100<sup>აა</sup> უნდა შეესაბამებოდეს მმართველი ზემოქმედების მთელი ათობითი რიცხვის სახით, რომელიც ტოლი იქნება 1000. მაშინ  $K_{\beta} = K_{\alpha} + 100$  ერთეულს/მმ. ძნელი არ არის დავრწმუნდეთ იმაში, რომ (5-2) პირობის შესრულებისას და  $\delta g \rightarrow 0$  უზრუნველყოფისას მიიღწევა მართვის მიზანი (5-1). თუ ეს პირობა არ სრულდება, მაშინ ჩვენ მიზანს (5-1) ვერ ვაღწევთ. ამრიგად, უკუკავშირის გადამწოდის თავისებურებების გათვალისწინება მმართველი ზემოქმედების ფორმირებისას, წარმოადგენს ამოცანას, რომელიც ყოველთვის უნდა იქნას გადაწყვეტილი კომპიუტერული მართვის სისტემების აგებისას.

როდესაც საქმე გვაქვს მრავალკომპონენტთან მექანიკურ სამართავ ობიექტთან, მაგალითად მანიპულაციური მექანიზმი ან ჩარხის მექანიკური ნაწილები, რომლებსაც აქვთ რამდენიმე ხარისხის სამართავი მოძრაობები, გამოიყენება რამდენიმე სამართავი ამძრავი. ამ ამძრავებს ხშირად უწოდებენ სამართავ ღერძებს, ხოლო მათი რიცხვი ტოლია სამართავი მოძრაობების ხარისხების რაოდენობისას. ამ შემთხვევაში (5-1) ტოლობაში სიდიდეები უნდა აღვიქვათ, როგორც განზოგადებული ვექტორები. სიდიდე  $\alpha$  წარმოადგენს მანიპულატორის კოორდინატების ვექტორს ან ჩარხის ამძრავების გამომავალი ღერძების ფაქტიური მობრუნების კუთხეების ვექტორს. ამავე დროს მართვის სისტემას აქვს რამდენიმე არხი, რომელთა რიცხვი ტოლია სამართავი ღერძების რაოდენობის (ნახ. 5-2). თითოეულ არხში იმყოფება განცალკევებული ელექტრომექანიკური ქვესისტემა თავისი შემსრულებელი ძრავით, რომელიც ახდენს ზემოქმედებას ჩარხის ან რობოტის მანიპულატორის ერთ-ერთ მექანიკურ ნაწილზე. ამ მოძრავი ნაწილების ფაქტურ მდებარეობაზე ინფორმაციას გვაწვდიან მდებარეობის გადამწოდები (მგ 1, .....მგ N ნახ.5-2-ზე). მნიშვნელოვანია, რომ კომპიუტერი ასრულებს მმართველ პროგრამას, რომელშიც განხორციელებულია იდეალური სახე მთელი მექანიკური სისტემის სასურველი მოძრაობისა, მონაწილეობს მართვის ყველა არხის ფუნქციონირებაში და იღებს მონაცემებს ყველა მდებარეობის გადამწოდიდან, ანგარიშობს განთანხმებას და ახდენს მმართველი ზემოქმედების ფორმირებას ყველა ელექტრომექანიკურ ქვესისტემაზე.



ნახ. 5-2. მრავალკომპონენტანი მექანიკური ობიექტის კომპიუტერული მართვის სტრუქტურული სქემა



ნახ. 5-3. მექანიკური ობიექტის მოძრაობს კომპიუტერული მართვის სისტემის სტრუქტურა

შესაძლებელია მრავალკოორდინაციანი ობიექტის მართვის ორი ტიპი: მოძრაობის ხარისხების განცალკევებული მართვა და მართვა მრავალკოორდინაციანი მოძრაობის მუშა ორგანოსი ან ინსტრუმენტის, რომელთაც სჭირდებათ მოძრაობის ყველა მართვის ხარისხის ერთდროულად შეთანხმება. ცალკეული მართვისას ამძრავების მოძრაობის ხარისხი იღებს მმართველ ზემოქმედებას, რომლებიც ზოგიერთ შემთხვევებში შეიძლება გამომუშავებულები იყოს არა ერთდროულად ცალ-ცალკე. მაგალითად, ადამიანი ოპერატორს მართვის პულტის დახმარებით შეუძლია თანამიმდევრულად ცვალოს მანიპულატორის რგოლების მდებარეობა. ზოგიერთ შემთხვევებში ასეთი მართვა უზრუნველყოფს მარტივი ტექნოლოგიური ოპერაციების შესრულებას, მანიპულატორის ობიექტების წატაცების (პირმოღების) და გადაადგილების, მაგრამ რთული სახის სამუშაოების შესრულებისათვის საჭიროა მრავალკოორდინაციანი მართვის სისტემები. მუშა ორგანოს ან ინსტრუმენტის გადაადგილების მრავალკოორდინაციანი მართვისას. მათი კოორდინატების სასურველი მნიშვნელობა წარმოადგენენ საფუძველს კომპიუტერის მიერ სასურველი ზემოქმედების გამოთვლისათვის, რომლებიც ერთდროულად სრულდება მიმყოლი ამძრავებისათვის. ამიტომ აქ მიმდინარეობს მსჯელობა ერთდროულ და შეთანხმებულ მართვაზე მანიპულატორის მოძრაობის ყველა ხარისხის მართვაზე ან მრავალკოორდინაციანი ჩარხის ყველა ღერძს, იმისათვის რომ მოვახდინოთ რეალიზაცია მრავალკოორდინაციანი შეთანხმებული მართვისა, უნდა გაგვაჩნდეს მუშა ორგანოს კინემატიკური კავშირების აღწერა მექანიზმის განზოგადებული კოორდინატებთან ერთად, რომლის ღერძების მდებარეობა რეგულირდება ამძრავების დახმარებით. მმართველი ზემოქმედების ფორმირება ხორციელდება კინემატიკის შებრუნებული ამოცანების ამოხსნის შედეგად.

მექატრონული სისტემები, როგორც წესი, შედგება ერთმანეთთან დაკავშირებული დიდი რაოდენობის ბლოკებისაგან. შიგა დინამიკური პროცესების ხასიათის მიხედვით, რომლებიც მიმდინარეობენ ამ ბლოკებში, მექატრონული სისტემები, რომლებიც განიხილებიან ან როგორც სისტემები მოძრაობების ავტომატური მართვისა (მამ), იყოფა უწყვეტი და დისკრეტული სისტემების კლასებად, აგრეთვე წრფივი და არაწრფივი სისტემების კლასებად.

უწყვეტი მოქმედების სისტემა - ეს ისეთი სისტემაა, რომლის ყველა რგოლში შემავალი სიდიდის უწყვეტ ცვლილებას დროში, შეესაბამება დროში გამომავალი სიდიდის უწყვეტი ცვლილება.

დისკრეტული მოქმედების სისტემა ეწოდება ისეთ სისტემას, რომლის შემადგენლობაში მყოფი რგოლებიდან ერთში მაინც შემავალი სიდიდის უწყვეტი ცვლილებისას გამომავალი სიდიდე იცვლება არა უწყვეტად რამედ ზოგიერთი დროის დისკრეტულ მომენტში ან იღებს ზოგიერთ დისკრეტულ მნიშვნელობას.

წრფივი ეწოდება სისტემებს, რომლის რგოლების დინამიკა აღიწერება წრფივი განტოლებებით. თუ სისტემის ერთ რგოლში მაინც ირღვევა მისი დინამიკის ტოლობის წრფივობა, მაშინ ასეთ სისტემას ეწოდება არაწრფივი.

ქვემოთ იქნება ნაჩვენები, რომ კომპიუტერული მართვის სისტემები წარმოადგენენ არაწრფივ დისკრეტული მართვის სისტემებს. რადგან მათში ხდება სიგნალების დისკრეტიზაცია დროის და მნიშვნელობების მიხედვით. ამავდროულად, ხშირად შესაძლებელია სრულად დასაბუთებულად და პირველი მიახლოებით არ გავითვალისწინოთ მნიშვნელობის მიხედვით დისკრეტიზაციის გავლენა მნიშვნელობების მიხედვით და ჩავთვალოთ ეს სისტემები წრფივ დისკრეტულ სისტემებად, რომელთაც ხშირად უწოდებენ იმპულსურ სისტემებს.

## 5. 2. კომპიუტერული მართვის სისტემების განზოგადებული სტრუქტურა

განზოგადებული სტრუქტურა მექანიკური ობიექტის მოძრაობის კომპიუტერული მართვის (ნახ. 5-3) თავის თავში შეიცავს სისტემის უწყვეტ შემსრულებელ ნაწილს, მმართველი კომპიუტერი და ინტერფეისის კომპონენტები, რომელთა რიცხვსაც მიეკუთვნება, უპირველეს ყოვლისა, ციფრულანალოგური და ანალოგურციფრული გარდამქმნელები (ცაგ და აცგ).

აცგ გამოიყენება უწყვეტი სიგნალის რიცხვის კოდად გარდასაქმნელად, რომელიც შეიძლება აღითქვას და დაამუშაოს მმართველმა კომპიუტერმა. აცგ გამოიყენება კომპიუტერის მიერ ფორმირებული და დამახსოვრებული მართვის კოდის გარდასასახად უწყვეტ სიგნალად სისტემის უწყვეტი ნაწილის სამართავად.

მმართველი კომპიუტერი შიცავს პროცესორს, რომელიც ახორციელებს გამოთვლებს, რომლებიც საჭიროა მმართველი ზემოქმედების  $K_u$  - ს კოდის გამოსაანგარიშებლად, მეხსიერებას პროგრამების საწყისი მონაცემებისა და გამოთვლების შედეგების შესანახად აგრეთვე შეტანისა და გამოტანის ბუფერებს. სისტემის უწყვეტ ნაწილზე, რომელიც თავის თავში შეიცავს, საერთო შემთხვევაში, უწყვეტ შემსრულებელ ნაწილს და ანალოგურ რეგულატორს მოდებულია ორი ზემოქმედება მმართველი  $U$  და აღმზნები ზემოქმედება  $f$ . ზემოქმედება  $U$  განკუთვნილია სარეგულირებელი ცვლადი  $X$ -ის მიზანმიმართული ცვლილებისათვის, ფორმირდება მმართველ კომპიუტერში და მიეწოდება ანალოგურ რეგულატორს ცაგ-ის საშუალებით. რეგულირების კონტური, რომელშიც ჩართულია ანალოგური რეგულატორი, შეერთდება ანალოგური 1 გადამწოდის საშუალებით. მთავარი უკუკავშირის კონტური შეერთდება მდებარეობის ციფრული გადამწოდის საშუალებით - დისკრეტული გადამწოდი. მის გამოსასვლელზე წარმოიქმნება კოდი  $K_x$ , რომელსაც



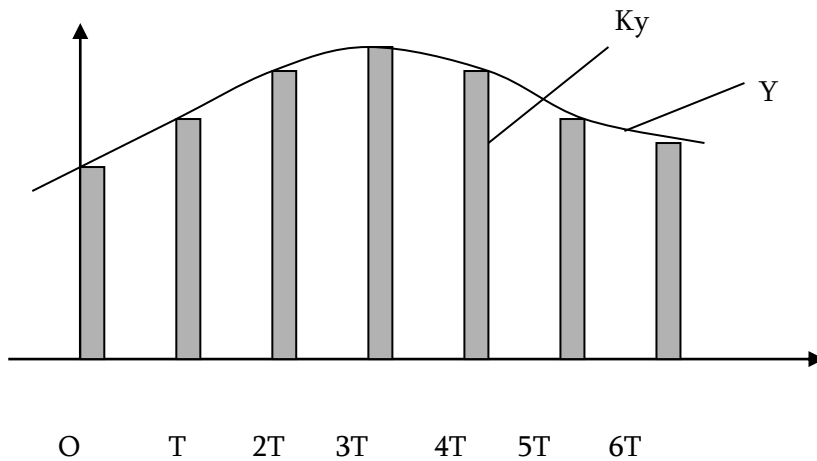
მიაქვს ინფორმაცია სარეგულირებელ ცვლად  $X$  მაგალითად მართვის ობიექტის მდებარეობაზე. ამ კოდს იღებს მმართველი კომპიუტერი შეტანის ბუფერის მეშვეობით და ის გამოიყენება მართვის კოდის  $K_U$  - ს ფორმირებისათვის. კომპიუტერში ფორმირებული მმართველი ზემოქმედება რიცხვის  $K_U$  - ს კოდის სახით შეიტანება გამოტანის ბუფერის დამმახსოვრებელ მოწყობილობაში და იქიდან მიეწოდება ცაგ-ის შესასვლელს. გამოტანის ბუფერი ინახავს მონაცემებს დროის შემდეგ ტაქტურ მომენტამდე. ცაგ-ის დახმარებით მართვის კოდი  $K_U$  გარდაიქმნება უწყვეტ მმართველ ზემოქმედებად  $U$ . ცაგ-ში მონაცემების ჩასაწერად მმართველი კომპიუტერი გამოიმუშავებს სინქროსიგნალს. რეგულირების კონტურის შეკვრა  $Y$  ცვლადით, მაგალითად, მართვის ობიექტის სიჩქარის მიხედვით ხორციელდება ანალოგიური გადამწოდით 2 და აცგ-ს მეშვეობით. ანალოგიურ - ციფრული გარდაქმნის შესასრულებლად მმართველი კომპიუტერი იძლევა შესაბამის ბრძანებას. გაზომილი სიდიდე  $Y_g$  გადამწოდი 2-ის გამოსასვლელიდან გარდაიქმნება  $K_y$  - ით ეცგ-ს გამოსასვლელზე. ეს კოდი შეიტანება კომპიუტერში შეტანის ბუფერის მეშვეობით და გამოიყენება მმართველი ზემოქმედების საანგარიშოდ. ამრიგად, ერთი და იგივე მმართველი კომპიუტერი მონაწილეობს  $X$  და  $Y$  ცვლადების რეგულირებაში.

კომპიუტერული მართვის სისტემაში ფუნქციონირება უნდა ხდებოდეს რეალურ დროში. ეს განპირობებულია იმით, რომ მექანიკური მართვის ობიექტი და მთელი უწყვეტი ნაწილი სისტემის, ემორჩილება ფიზიკის ულმობელ კანონებს და ცხოვრობენ თავისი ცხოვრებით. ამიტომ მათი მდგომარეობის კონტროლი და შესაბამისი ზემოქმედების გაცემა მათი მოძრაობის სამართავად არ შეიძლება შევაცოვნოთ მნიშვნელოვანი დროით ან გადავდოთ. ეს მიგვიყვანს ფუნქციურ დარღვევებამდე და ავარიულ სიტუაციებამდე და შესაძლებელია ძალიან მძიმე შედეგებით. ამიტომ კომპიუტერული მართვის სისტემებში მიმდინარე პროცესები უნდა იყვნენ მიბმულები რეალურ დროსთან. ეს ხორციელდება ტაიმერის მეშვეობით. ის წარმოადგენს მაღალი სტაბილურობის მქონე იმპულსების გენერატორს, რომლებიც გამომუშავდება დროის ტოლ მონაკვეთებში  $T$ , რასაც უზრუნველყოფს კვარცული სტაბილიზაციის გამოყენება.

ტაიმერის მორიგი იმპულსის გამომუშავების მომენტში ხდება კომპიუტერის მთავარი პროგრამის შესრულების შეწყვეტის მოთხოვნა და დაუყონებლივ ხდება უკუკავშირის გადამწოდების სიგნალების გამოკითხვის ქვეპროგრამის გამოძახება და მართვის კოდის ფორმირება. გასაგებია, რომ მმართველი კომპიუტერი მასში შემავალ ინფორმაციას არ ამუშავებს მყისიერად, არამედ გარკვეულ დროში. ეს დრო დამოკიდებულია მართვის ალგორითმის სირთულეზე, რომელიც დაპროგრამებულია კომპიუტერში, პროცესორის სწრაფმოქმედებაზე, მეხსიერებასა და კომპიუტერი მონაცემების გადაცემის არხებზე. მმართველი კომპიუტერის წარმადობა უნდა იყოს საკმარისი იმისათვის, რომ ყველა ოპერაცია, რომელიც დაკავშირებულია მართვის კოდის ფორმირებასთან, უნდა იყოს დასრულებული ტაიმერის შემდეგი იმპულსის მოსვლამდე. ამრიგად, მექანიკური ობიექტის მოძრაობის მართვის კომპიუტერული

სისტემა უნდა წარმოადგენდეს ე. წ. ხისტი, რეალური დროის სისტემას. ამისათვის მმართველი კომპიუტერები აღჭურვილი რეალური დროის ოპერაციული სისტემებით.

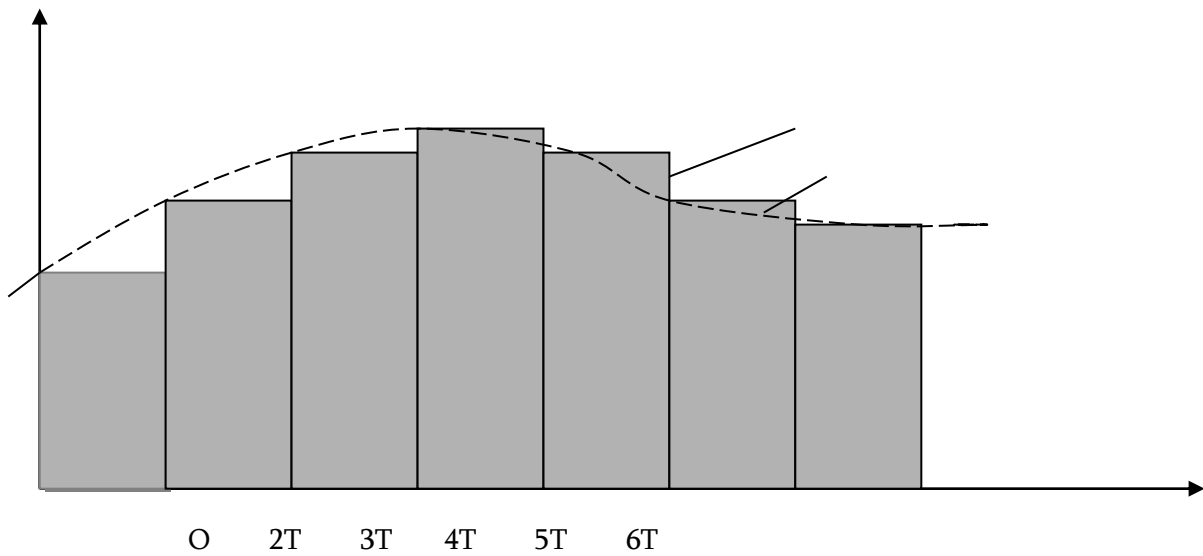
კომპიუტერული მართვის სისტემაში სიგნალების დაკვანტვა ხდება დროის და დონის მიხედვით. კომპიუტერული მართვის სისტემის ფუნქციონირების განსაკუთრებულობა მდგომარეობს, უპირველეს ყოვლისა, სიგნალების დროით დისკრეტიზაციაში. ეს პროცესი თვალნათლივ ჩანს აცგ-ს მუშაობის განხილვისას. უწყვეტად ცვლადი სიდიდე  $Y$  გარდაიქმნება  $Ky$  იმპულსების თანამიმდევრობაში.



ნახ. 5. 4 აცგ-ში სიგნალების დროით დაკვანტვის პროცესი

(ნახ. 5. 4). აცგ-ს გამოსასვლელზე წარმოიქმნება დროის დისკრეტულ მომენტებში, რომლებიც ერთმანეთისაგან დაშორებულებია დროის თანაბარი შუალედებით  $T$ . სიდიდე  $T$  ეწოდება დაკვანტვის პერიოდი. უწყვეტი სიდიდის გარდაქმნას იმპულსების თანამიმდევრობად წარმოადგენს დროით პერიოდულ დაკვანტვას. სისტემებში კომპიუტერული მართვით, როგორც წესი, იმპულსის (მისი მნიშვნელობა) პროპორციულია უწყვეტი სიგნალის მნიშვნელობისა დროის იმ ტაქტურ მომენტში, როდესაც წარმოიშობა ეს იმპულსი. ამ დროს ხორციელდება ამპლიტუდურ-იმპულსური მოდულაცია. თუ არა გვაქვს დაკვანტვა დონის მიხედვით, მაშინ სიგნალების პერიოდული დაკვანტვის დროის მიხედვით მივყავართ იმპულსური სისტემის წარმოქმნამდე.

იმპულსური სისტემა ეს ისეთი სისტემაა, რომელშიც არსებობს ელემენტი, რაც განხორციელებულია სიგნალების პერიოდული დაკვანტვისა დროში. ამის შედეგად წარმოიშობა თანამიმდევრობა იმპულსებისა. უნდა აღვნიშნოთ, რომ იმპულსური სისტემა წრფივი სისტემაა.



ნახ. 5-5. უწყვეტი სიგნალის აღდგენის პროცესი მიმდევრობითი რიცხვებისაგან

ცაგ-ის მეშვეობით გარდაქმნილი კომპიუტერში ფორმირებული და დამახსოვრებული ცაგ-ის რეგისტრში  $K_u$  რიცხვის კოდი, უწყვეტ მართვის სიგნალად  $U$  მიმდინარეობს უწყვეტი სიგნალის აღდგენის პროცესი მიმდევრობითი რიცხვებისაგან (ნახ.5. 5). მრუდი, რომელიც გადის შესაბამის მიმდევრობით მართვის კოდებზე  $K_u$  წარმოადგენს აღდგენილ უწყვეტ სიგნალს  $U$ .

კომპიუტერი აღიქვამს არა იმპულსებს, არამედ რიცხვების კოდს, ამიტომ ინფორმაციის შესატანად კომპიუტერში აცგ-ს დახმარებით ხორციელდება იმპულსის ამპლიტუდის გარდასახვა (სიმაღლის) რიცხვად. ასეთი გარდასახვის პროცესს ეწოდება გაციფრების პროცესი. ამ დროს იმპულსის ამპლიტუდის მნიშვნელობა ეთანადება ან დამრგვალებას ან წაკვეთას მოწყობილობის სახეობაზე დამოკიდებულებით. ასეთ ოპერაციას ეწოდება დაკვანტვა დონის მიხედვით და აიხსნება იმით, რომ ციფრული წარმოდგენისას დასაშვებია მხოლოდ მთლიანად გარკვეული მნიშვნელობები, რომლებიც შეიძლება განსხვავდებოდეს ერთმანეთისაგან ციფრის უმცროსი თანრიგის ერთი ერთეულით მთელი რიცხვის ორობითი კოდისა. კომპიუტერული მართვის სისტემები წარმოადგენს ციფრულ სისტემებს.

ციფრული სისტემები ეწოდებათ ისეთ სისტემებს, რომლებშიც ხორციელდება სიგნალების დაკვანტვა იმავდროული დაკვანტვით დონის მიხედვით, მთელი რიცხვების სახით ციფრული სისტემები წარმოადგენს არაწრფივ სისტემებს. ამრიგად, კომპიუტერული მართვის სისტემა არაწრფივი სისტემაა.

### 5.3. კომპიუტერული მართვის სისტემების ძირითადი თავისებურებები

მომრავლის მართვის კომპიუტერული სისტემა წარმოადგენს ციფრულ-ანალოგურ მოწყობილობას. მისი სტრუქტურა წარმოქმნილია სამი ტიპის ელემენტების გაერთიანების

შედეგად, მმართველი კომპიუტერი, უწყვეტი მოქმედების შემსრულებელი ელემენტები და ინტერფეისული ელემენტები (ცაგ და აცგ).

მოდრაობის მართვის კომპიუტერული სისტემა ფუნქციონირებს რეალურ დროში. მართვის სიგნალების ფორმირების მომენტს ახამ რეალურ დროს. დროის ათვლა და დროის სინქრონიზაცია ხორციელდება ტაიმერით (ტაქტური იმპულსების გენერატორით, იმპულსების სტაბილური სიხშირით).

ზოგად შემთხვევებში მოძრაობის მართვის უზრუნველყოფა ხდება ორი ჯგუფის რეგულატორების შეთავსებული ფუნქციონირების შედეგად: რეგულატორები მართვის ანალოგური საშუალებების ბაზაზე (ანალოგური რეგულატორები), რეგულატორები მართვის პროგრამის სახით (ციფრული პროგრამულად რეალიზებული რეგულატორები). მოძრაობის კომპიუტერული მართვის თანამედროვე სისტემებისთვის დამახასიათებელია მართვის პროგრამული საშუალებების როლის გაძლიერება და ანალოგური მართვის საშუალებების შევიწროება და გამოდევნა.

მმართველი კომპიუტერი წარმოადგენს სისტემის ციფრული ნაწილის ძირითად ელემენტს. იგი გამოიხსნის სასურველი ინფორმაციის გარდასაქმნელად სარეგულირებელი ობიექტის მიმდინარე მდგომარეობის, მმართველ ზემოქმედებად, რომელიც მიეწოდება უწყვეტ ნაწილს, რათა უზრუნველვყოთ მართვის მიზნის მიღწევა. კომპიუტერი ემსახურება უშუალო მართვას რეალურ დროში. სისტემის ანალოგური შემსრულებელი მოწყობილობის, მაგალითად: შემსრულებელი მექანიზმის სიმძლავრის გამაძლიერებლის.

კომპიუტერი წარმოადგენს დისკრეტულად მოქმედ მოწყობილობას, რომელიც ახდენს ციფრული მართვის ზოგიერთი ალგორითმის რეალიზაციას.

ალგორითმები განსაზღვრავს ინფორმაციის საჭირო გარდასახვას, რომლის შედეგადაც ხდება რიცხვებზე არითმეტიკული და ლოგიკური ოპერაციების შესრულება რიცხვებზე, რომელთა საშუალებითაც ხდება სისტემაში მოხმარებული ელემენტების მდგომარეობის და ზემოქმედების ცვლადი მინაცემების კოდირება. ამის გამო მართვის ფუნქციები, რომლებიც ანალოგურ სისტემაში ხორციელდება, უწყვეტი მაკორექტირებელი მოწყობილობების მიერ, კომპიუტერულ სისტემაში აღიწარმოება პროგრამულად. მართვის ალგორითმების რეალიზაცია ხორციელდება ორი ერთმანეთთან დაკავშირებული კომპონენტით - მმართველი კომპიუტერის აპარატურული და პროგრამული უზრუნველყოფით.

ალგორითმები, რომლებიც მთლიანობაში წარმოქმნის მართვის კომპიუტერული სისტემის (მკს) ალგორითმულ უზრუნველყოფას, წარმოადგენენ მკაფიო არაორაზროვან წესებს მოქმედებების განხორციელებისა მოწყობილობებზე, სიგნალებზე, მონაცემებსა და მისამართებზე, რომელთა საშუალებითაც ვაღწევთ დასახულ მიზანს, მივიღოთ მკს-ის ფუნქციონირების ხარისხიანი პროცესი ალგორითმებში, რომელთა შესამისადაც ფუნქციონირებს მკს. ყველაზე ზოგადად განხილვისას შეიძლება დაყოფილი იქნას

მმართველი კომპიუტერის ალგორითმებად და უწყვეტად მოქმედი მოწყობილობების ალგორითმებად.

მმართველი კომპიუტერის მუშაობის ალგორითმების რეალიზაცია ხდება ამ კომპიუტერის პროგრამული უზრუნველყოფის (პუ)-ს საშუალებით. პუ წარმოადგენს იმ პროგრამების ერთობლიობას, რომლებიც ჩაწერილია კომპიუტერის მეხსიერებაში მანქანური კოდებით და ჩაშენებულს იმ ბრძანებათა სისტემაში, რომელიც გამოიყენება მმართველი კომპიუტერის აპარატურის და მკს-ის ანალოგური აპარატურის სასურველი ხარისხის ურთიერთქმედებამდე, საინფორმაციო - გამზომი ხელსაწყოების სიგნალების და რეგულირების სიგნალების, რომლებიც მიეწოდება მკს-ის შემსრულებელ მექანიზმებს, ციფრული გადამუშავებამდე.

კომპიუტერული პერიოდულად ასრულებს მოქმედებას, რომლებიც გასათვალისწინებელია მართვის ალგორითმებით სხვადასხვა ალგორითმი აყენებს ერთმანეთისგან განსხვავებულ მოთხოვნებს მათ მიერ რეალიზებული პროცესების სინქრონიზაციისას. ყველაზე მკაცრი მოთხოვნები წაეყენება ოპერატიული მართვის ალგორითმებს, კერძოდ სისტემის დინამიკური მახასიათებლების კორექციის ციფრულ ალგორითმებს. ისინი სრულდება ციკლურად ერთმანეთის მიმდევრობით მკაცრად განსაზღვრული შესასრულებელი მოქმედებების გამეორების პერიოდით (დისკრეტულობის პერიოდი) T.

დისკრეტულობის პერიოდი T ისახება სისტემის დინამიკური თვისებებიდან გამომდინარე და განსაკუთრებით მისი უწყვეტი ნაწილიდან. სიდიდე T, მართვის პროცესის ერთი ციკლის დროს და ასრულებს დროით დაკვანტვის პერიოდს.

თუ ალგორითმით გათვალისწინებული ოპერაციები შეიძლება შესრულებული იქნას დროში, რომელიც არ აჭარბებს T, მაშინ ლაპარაკია რეალურ დროში მართვაზე. საწინააღმდეგო შემთხვევაში აუცილებელი მოქმედებების დარჩენილი ნაწილი ან არ სრულდება, ან გადაადგილდება რიგით შემდგომი ოპერაციების დაწყების მომენტამდე. შედეგად მკს-მა შეიძლება დაკარგოს მუშაობის უნარი. ამიტომ ამას მივყავართ აუცილებლობამდე მმართველი კომპიუტერის დროითი დიაგრამის შემუშავებისა და შესრულების მკაცრად განსაზღვრული საჭირო დისკრეტულობის საჭირო მნიშვნელობის გაანგარიშებამდე.

#### **5.4. კომპიუტერული მართვის სისტემის უპირატესობები ანალოგური მართვის სისტემებთან შედარებით**

კომპიუტერული მართვის სისტემების შედარებისას ანალოგური მართვის სისტემებთან შეიძლება გამოვამჟღავნოთ შემდეგი უპირატესობები, რომლებიც აქვს მკს-ებს:

1. მკს-ს აქვს მნიშვნელოვანი ფუნქციონალური მოქნილობა, თუ ანალოგიური მს-ებისთვის ფუნქციების შეცვლისათვის უნდა განხორციელდეს მისი რგოლების გადაჯგუფება და თვისებების შეცვლა, ხოლო ციფრული სისტემებისათვის საკმარისია გადაპროგრამება აპარატურის შემადგენლობის შეცვლის გარეშე. მმართველის კომპიუტერი საშუალებას გვაძლევს ავაგოთ მკს-ი, როგორც მრავალფუნქციური მოწყობილობა, რომელსაც შეუძლია მუშაობა რამდენიმე რეჟიმში. აქვს რეჟიმების გადართვა, სტრუქტურების და პარამეტრების მნიშვნელობის შეცვლა ხდება პროგრამულად.
2. იმის გამო, რომ მკს-ს აქვს მინიმალური გარე შეერთებები, ამიტომ მას ა უფრო მაღალი საიმედოობა აქვს, ვიდრე სისტემებს, რომლებიც შესრულებულია მხოლოდ ანალოგურ ელემენტებზე.
3. მკს-ებისთვის დამახასიათებელია ციფრული გადამწოდების (პირველადი გარდამსახების) გამოყენება, რომლებსაც აქვთ მაღალი მკაფიოობის (გარჩევითობის) უნარი, გამოთვლის მაღალი სიზუსტე, უნარი ეფექტურად გადაამუშაოს რიცხვითი მონაცემები შერწყმული ხელშემშლელების მიმართ მედეგობასთან და დრეიფის არ - არსებობასთან მმართველი ზემოქმედების ფორმირებისას რაც საშუალებას გვაძლევს, მკს მივაკუთვნოთ მართვის სისტემების მაღალი სიზუსტის მქონეთა რიგს.
4. მკს-ში ჩნდება შესაძლებლობა პროცესების და მისი ფუნქციონირების ლოგიკური ანალიზისა და რეგულირების საშუალებების სტრუქტურების პროგრამული გადართვისა მკს-ის თვისებების დინამიკური თვისებების გასაუმჯობესებლად მუშაობის სხვადასხვა რეჟიმების თავისებურებების გათვალისწინებით. ამას აქვს უდიდესი მნიშვნელობა რთული დინამიკური ობიექტებისათვის და აქტიური ინტელექტუალური მართვის სისტემების ასაგებად.
5. თანამედროვე მიკროკომპიუტერები და მიკროკონტროლერები წარმოადგენს მინიატურულ მოწყობილობებს. მათი ზომები და მასა მნიშვნელოვნად ნაკლებია ანალოგური მართვის მოწყობილობების იმავე მაჩვენებლებთან შედარებით. ამიტომ მიკროკომპიუტერებისა და მიკროკონტროლერების გამოყენება ხელს უწყობს მკს-ის ზომებისა და მასის მნიშვნელოვნად შემცირებას.
6. მმართველი კომპიუტერები განუწყვეტლივ იაფდება, ამიტომ უკვე ამჟამად მათი გამოყენება მკს-ში ეკონომიურად უფრო გამართლებულია, ვიდრე ანალოგური მართვის მოწყობილობებისა.

## თავი 6 მოძრაობის კომპიუტერული მართვის სისტემების აპარატურული უზრუნველყოფა

### 6.1. კომპიუტერული მართვის სისტემის შემადგენლობაში მმართველი

#### კომპიუტერის განსაზღვრა

მექატრონული სისტემის კომპიუტერული მართვის სისტემის შემადგენლობაში მმართველი კომპიუტერი - ელექტრონული აპარატურის კომპლექსი, რომლის დანიშნულებაა მართოს მართვის მექანიკური ობიექტების მოძრაობა, რომელიც შეიცავს მიკროპროცესორს, ნახევარგამტარულ მეხსიერებას, პერიფერიულ მოწყობილობებთან კავშირის საშუალებებს, მკს-ის შემსრულებელი მოწყობილობების ჩათვლით, ადამიან - ოპერატორთან ურთიერთობის მოწყობილობებს, კვების წყაროებს და სხვა საჭირო მოწყობილობებს, გაერთიანებულს საერთო კონსტრუქციებით.

მმართველი კომპიუტერის ფუნქციის რეალიზება მიიღწევა მისი აპარატურული საშუალებების და პროგრამული უზრუნველყოფის (პუ)-ს ურთიერთქმედების შედეგად.

უპირველეს ყოვლისა, ყურადღების მიქცევა საჭიროა იმაზე, რომ კომპიუტერი ამუშავებს ინფორმაციას. კომპიუტერი იღებს ინფორმაციას გარე მოწყობილობებისაგან, მკს-ის გადამწოდებისაგან, მაგალითად, გადამწოდის გამომავალის სიგნალის აცგ-ს დახმარებით გადამუშავების შედეგად და გასცემს ინფორმაციას ცაგ-ში, სადაც იგი გადამუშავდება ელექტრულ ძაბვად, რომელიც წარმოადგენს მმართველ ზემოქმედებას.

მმართველი კომპიუტერი ამუშავებს ინფორმაციას ცალკეული ბიტების, ბაიტების, სიტყვების და ორმაგი სიტყვების სახით. ყველაზე წვრილ განუყოფელ ინფორმაციის ერთეულს წარმოადგენს ბიტი. ერთი ბიტი აღწერს რომელიმე ობიექტის ან პროცესის ორ შესაძლო მდგომარეობას (1 ან 0). მდგომარეობა „1“ ნიშნავს, რომ მტკიცებულება ჭეშმარიტია, რომ რაღაც არსებობს, გვაქვს. „0“ ნიშნავს, რომ მტკიცებულება ცრუა, ან რაღაც არ არის. ბაიტი - არის მოწესრიგებული, რამდენიმე, როგორც წესი, 8 ბიტი.

### 6.2. ინფორმაციის წარმოდგენა მმართველ კომპიუტერში

მმართველი კომპიუტერი ამუშავებს რიცხვებს წარმოდგენილს ორობით ფორმაში. რიცხვი წარმოდგება ელემენტების მოწესრიგებული ნაკრების სახით ასეთი სახით ხდება ინფორმაციის კოდირება.

მმართველ კომპიუტერში - გამოიყენება რიცხვის პოზიციური კოდი. მისი ფიზიკური მნიშვნელობა შეიძლება განსაზღვრული იქნეს ფორმულის მიხედვით თანრიგების რიცხვის გათვალისწინებით, ამა თუ იმ თანრიგის წონით, რომელიც განისაზღვრება ათვლის სისტემის ფუძით და ელემენტის ჩაწერის მდებარეობით პოზიციურ კოდში. რიცხვი არ არის დამოკიდებული ათვლის სისტემის შერჩევაზე, მაგრამ წარმოდგენა (ჩაწერა) სხვადასხვა ათვლის სისტემებში იქნება სხვადასხვა. მაგალითად, ორობითი კოდი, რომელსაც აქვს  $n$  თანრიგი შეესაბამება რიცხვს  $N$ -ს, ათობითი აღრიცხვის სისტემაში:

$$N = a_0 2^0 + a_1 2^1 + a_2 2^2 + \dots + a_n 2^n$$

სადაც  $a_0, a_1, \dots, a_n$  - ორობითი რიცხვის ნულოვანი, პირველი,  $\dots$   $n$ -ური თანრიგების შემცველობაა. ნებისმიერი თანრიგის შემცველობას შეიძლება ჰქონდეს მნიშვნელობა 0 ან 1. მაგალითად, ერთი ბიტის მეშვეობით შეიძლება აღწეროთ

$2^1 = 2$  ობიექტის მდგომარეობა, ხოლო ერთი ბაიტის საშუალებით შეიძლება აღწერილი იქნას ობიექტის  $2^8 = 256$  მდგომარეობა.

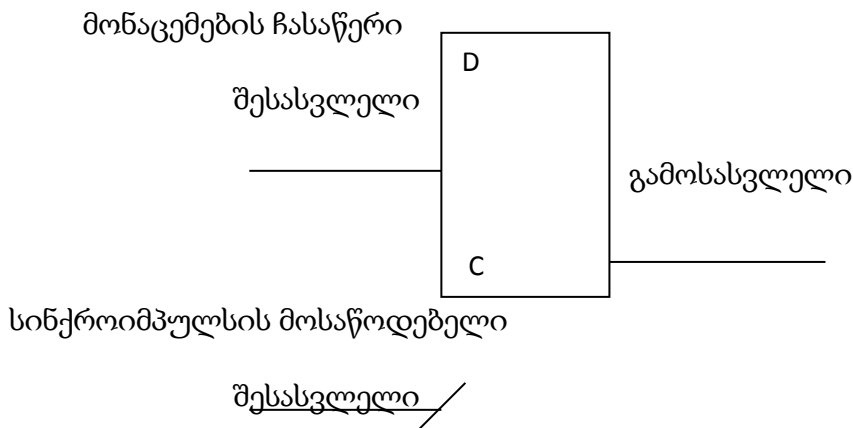
### 6.3. კომპიუტერის ინფორმაციის შენახვის საბაზისო ელექტრონული

#### მოწყობილობები

კომპიუტერში მონაცემების შესანახად გამოიყენება ელექტრონული მოწყობილობები, რომელთაც  $D$  ტრიგერები ეწოდებათ (ნახ. 6-1). ტრიგერი შეიძლება ომყოფებოდეს ორიდან ერთ-ერთ მდგარად მდგომარეობაში. მათგან ერთ-ერთ მდგომარეობაში მისი გამოსასვლელი ძაბვა (გამოსასვლელზე  $T$ ) მაქსიმალურია. ეს მდგომარეობა შეესაბამება ლოგიკურ ერთიანს (1). სხვა მდგომარეობაში ტრიგერის გამოსასვლელზე ძაბვა მინიმალურია (ახლოა ნულთან). ეს მდგომარეობა შეესაბამება ლოგიკურ ნულს (0). ამის მეოხებით ტრიგერს შეუძლია შეინახოს ერთი ბიტი ინფორმაცია.

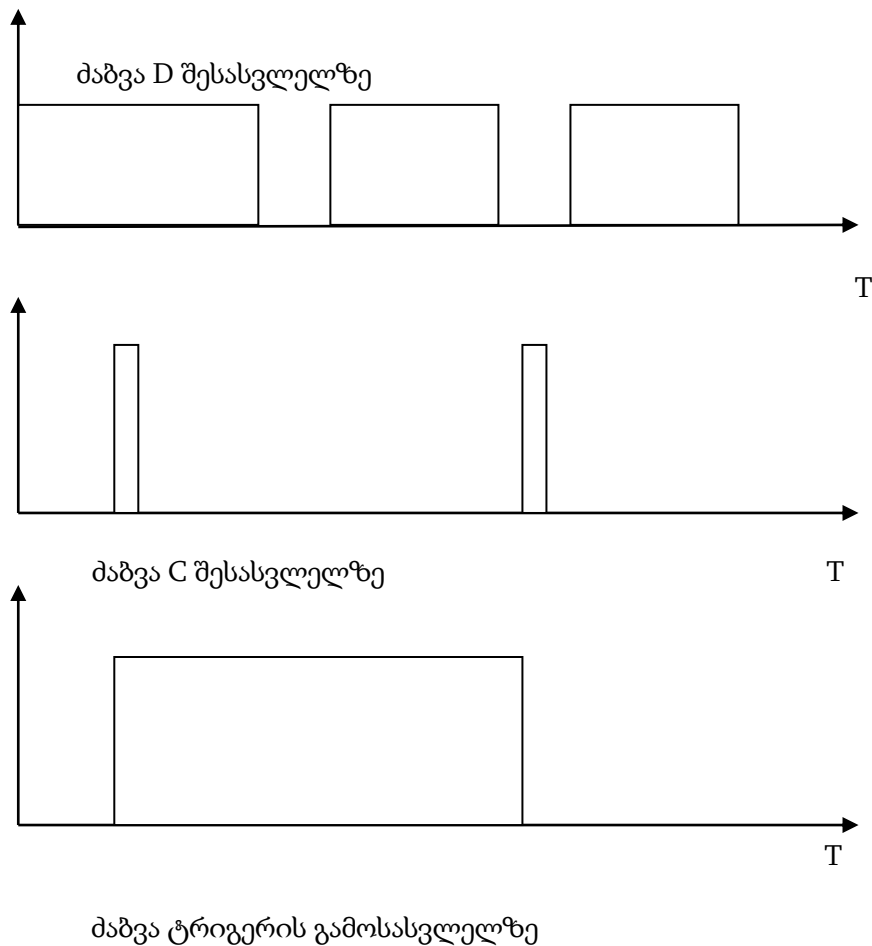
$D$  - ტრიგერს აქვს ორი შესასვლელი. მათგან ერთ-ერთს (შესასვლელი  $D$ ) მიეწოდება შემავალი სიგნალი რომელიც ექვემდებარება დამახსოვრებას. ამ სიგნალს უნდა ჰქონდეს მნიშვნელოვნად განსხვავებული დონეები, მათგან ერთ-ერთი აღიქმება როგორც ლოგიკური ერთეულის დონე, ხოლო მეორეს აქვს აზრი (მნიშვნელობა) ლოგიკური ნულის.





ნახ. 6-1. D - ტრიგერის აღნიშვნის სქემა

მეორე შესასვლელი (შესასვლელი C) ემსახურება სინქრონიზაციის მიწოდებას, რომელიც ნებას რთავს მონაცემების ჩაწერას ტრიგერში. როგორც წესი, ჩაწერა ხდება სინქრონიზაციის წინა ფრონტი. T ტრიგერის გამოსასვლელზე წარმოიქმნება სიგნალი. იგი იმეორებს სიგნალს ტრიგერის შესასვლელზე, რომელიც არის ტრიგერის C შესასვლელზე სინქრონიზაციის წინა ფრონტის წარმოშობისას. ტრიგერის მუშაობა ახსნილია ნახ. 6-2-ზე. დავუშვათ, რომ დროის საწყის მომენტში. ტრიგერის გამოსასვლელზე არის ძაბვის დაბალი დონე, რომელიც შეესაბამება ლოგიკურ ნულს. პირველი სინქრონიზაციის გამოჩენის მომენტში ტრიგერის D შესასვლელზე არის ძაბვის მაღალი დონე, ამიტომ გამოსასვლელზე ჩნდება აგრეთვე მაღალი დონე შესაბამისი ლოგიკური ერთიანისა. ეს დონე ნარჩუნდება შემდეგი სინქრონიზაციის მოსვლის მომენტამდე. ამრიგად, ხდება იმპულსის დამახსოვრება, რომელიც არსებობს პირველი სინქრონიზაციის გამოჩენის მომენტში. მეორე სინქრონიზაციის მოსვლის მომენტში ტრიგერის D შესასვლელზე იმყოფება ძაბვის დაბალი დონე. ამიტომ ტრიგერი იმახსოვრებს და აღწარმოებს თავის გამოსასვლელზე სწორედ დაბალ დონეს, ლოგიკური ნოლის შესაბამისს. ეს დონე იქნება შენარჩუნებული გამოსასვლელზე, შემდეგი სინქრონიზაციის მოსვლის მომენტამდე.

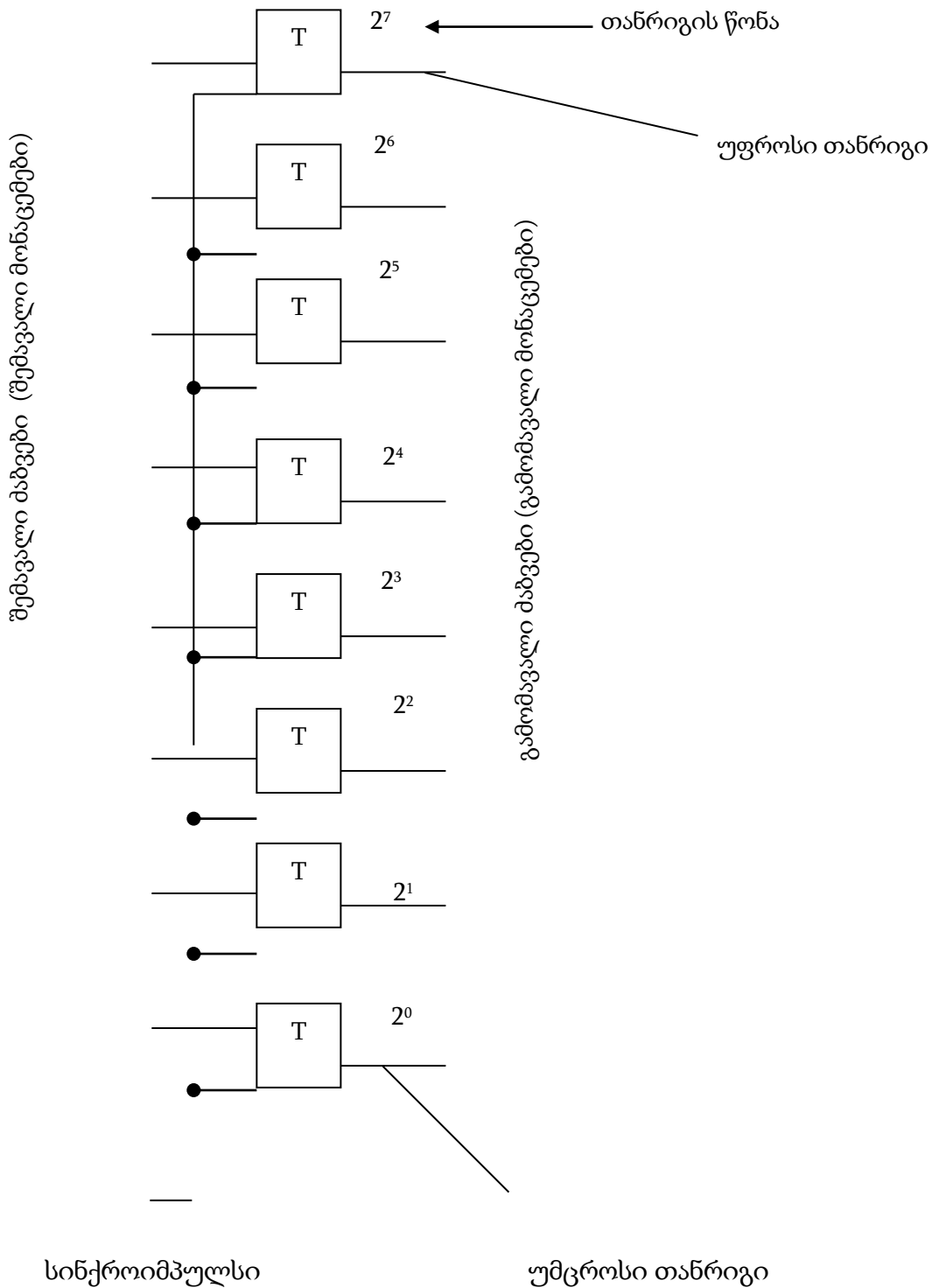


ნახ.6-2 D ტრიგერის მუშაობის ამსახველი ციკლოგრამები

ერთ ბიტზე მეტი ინფორმაციის შესანახად გამოიყენება რეგისტრები, რომლებიც წარმოადგენენ ტრიგერების გარკვეული წესით მოწესრიგებულ ჯგუფს. მაგალითად, 8 ტრიგერი წარმოქმნის 8- თანრიგიან რეგისტრს. ასეთ რეგისტრში შეიძლება დავაფიქსიროთ ერთი ბაიტი მონაცემები. რეგისტრები ემსახურება კავშირს მმართველ კომპიუტერსა და გარე მოწყობილობებს შორის. მაგალითად, ცაგ-თან, აცგ-სთან და გადამწოდებთან. ტრიგერები და რეგისტრები წარმოქმნის სტრუქტურას, სადაც მათ აქვთ დამოუკიდებელი შესასვლელები და გამოსასვლელები (ნახ. 6-3). ამის წყალობით მონაცემები იწერება ყველა ტრიგერში და რეგისტრში ერთდროულად.

განხილულ სტრუქტურაში ტრიგერებს მინიჭებული აქვთ ნომრები, რომლებიც ემთხვევა ამ რეგისტრის თანრიგების შესაბამის ნომრებს. მაგალითად, რვა თანრიგიანი რეგისტრი შეიცავს თანრიგებს ნომრებით 0-დან 7-მდე. ტრიგერის ნომერით 0 ეწოდება უმცროსი თანრიგი, ხოლო ტრიგერის ნომერით 7 ითვლება უფროსი თანრიგად. რეგისტრის გამომავალი სიგნალები კომპიუტერში შეიძლება გამოყენებული იქნას ცალ-ცალკე (თანრიგობრივად, ბიტებით) ან მთლიანობაში ყველა ერთდროულად. პირველ შემთხვევაში ყველა ტრიგერის გამომავალი სიგნალები განიხილება ერთმანეთისაგან დამოუკიდებლად და აქვთ ერთნაირი წონა. უკანასკნელ (მეორე) შემთხვევაში

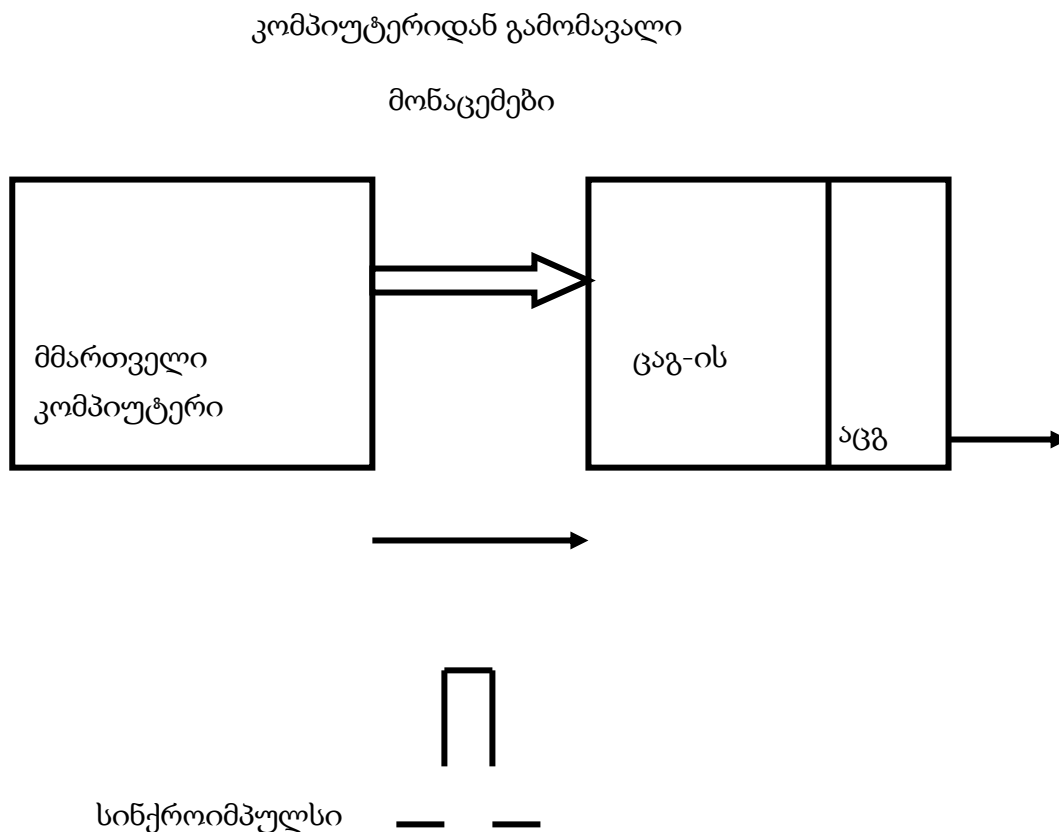
გამომავალი სიგნალები შეიძლება განხილულ იქნას როგორც თანაბარუფლებიანი (თანაბარმნიშვნელოვანი) ან როგორც სხვადასხვა წონის მქონე იმის და მიხედვით, თანრიგის რომელი ნომერი აქვს მიკუთვნებული (იხ. ნახ. 6. 3). ამავდროულად ისინი არიან ორობითი რიცხვის კოდის კომპონენტები. იმ მონაცემების დასამახსოვრებლად, რომლებიც აჭარბებენ ერთ ბაიტს გამოიყენება რამდენიმე რვა



ნახ. 6-3. 8 თანრიგის რეგისტრის აღმნიშვნელი სქემა

თანრიგიანი რეგისტრების კომბინაცია. მაგალითად, 16 თანრიგიანი სიტყვის დასამახსოვრებლად გამოიყენება ორი რვა თანრიგიანი რეგისტრი, ხოლო 32 თანრიგიანი ორობითი რიცხვის ფიქსაციისათვის გამოიყენება სტრუქტურა, რომელიც შედგება ოთხი ასეთი თანრიგისაგან.

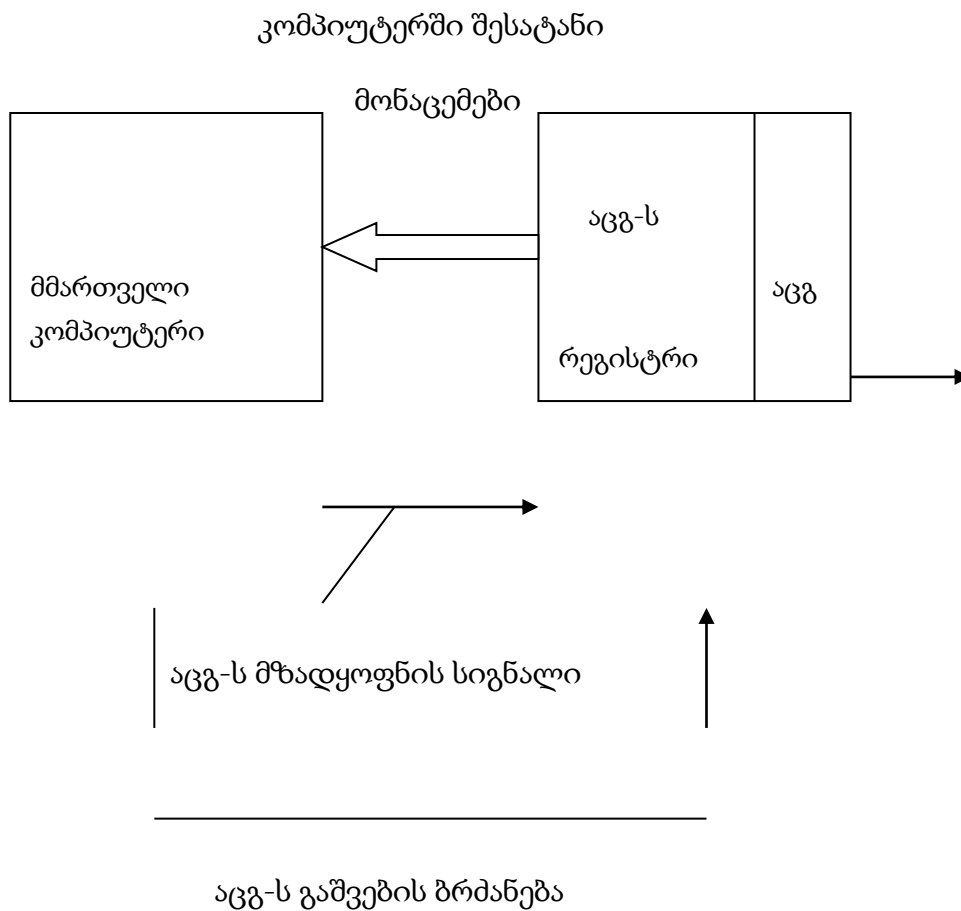
ცაგ-ს ყოველთვის აქვს რეგისტრი, რომელშიც ფიქსირდება (დამახსოვრება ხდება) კომპიუტერიდან გამომავალი მონაცემები კომპიუტერიდან ინფორმაციის გაცემის ორი მეზობელი მომენტის შუალედის დროის განმავლობაში. მონაცემების გაცემისას კომპიუტერი გამომავალ რიცხვს გარდაქმნის პირდაპირი კოდის მთელ რიცხვად, რომელსაც აქვს იმდენი თანრიგი, რამდენიც ცაგ-ის რეგისტრს. კომპიუტერი უთითებს ცაგ-ის რეგისტრის მისამართს და გამოაქვს ფორმირებული მონაცემები მისი ინფორმაციის გამომტანი ბუფერის რეგისტრში. შემდეგ კომპიუტერი აგზავნის სინქრონიზულს, რომლის დახმარებითაც ხდება ცაგ-ისთვის განკუთვნილი მონაცემების დამახსოვრება მის შემავალ რეგისტრში.



ნახ. 6. 4 მონაცემების ჩაწერა კომპიუტერიდან ცაგ-ის რეგისტრში

კომპიუტერში ინფორმაციის შესატანად გამოიყენება აცგ-ს რეგისტი, იმპულსური გადამწოდის იმპულსების მრიცხველის ან კოდური გადამწოდის რეგისტრი. აცგ-სთან მუშაობისას კომპიუტერი გამოიმუშავებს აცგ-ს გაშვების ბრძანებას და ახორციელებს აცგ-ს მონაცემების მზადყოფნის სიგნალის წარმოქმნის კონტროლს.

ანალოგიური მონაცემების ციფრულ ფორმაში გარდასახვის დამთავრების შემდგომ აცგ-ს ახდენს მონაცემების ჩაწერას თავის გამომავალ რეგისტრში და გამოდგამს მონაცემების მზადყოფნის სიგნალს. ამ სიგნალის აღმოჩენის შემდეგ კომპიუტერი კითხულობს მონაცემებს და იყენებს მათ მართვის კოდის ფორმირებისათვის.



ნახ. 6. 5. მმართველი კომპიუტერისა და აცგ-ს ურთიერთქმედების სქემა

## 6.4. მექატრონული სისტემების კომპიუტერული მართვის სისტემებში

### გამოყენებული კომპიუტერების ტიპები

ამჟამად კომპიუტერული მართვის სისტემებში მმართველი კომპიუტერის სახით ძირითადად გამოიყენება ორი ტიპის მოწყობილობა:

პერსონალური კომპიუტერის საფუძველზე (IBM PC - ტიპის), ერთკრისტალიანი მიკროკომპიუტერის ბაზაზე.

IBM PC - ტიპის კომპიუტერის განსაკუთრებულობას წარმოადგენს მისი ღია არქიტექტურა. იგი უზრუნველყოფს იმის საშუალებას, გავაუმჯობესოთ მისი ცალკეული ნაწილები და გამოვიყენოთ ახალი მოწყობილობები. ასეთი კომპიუტერი შესრულებულია არა როგორც ერთი მთლიანი არადაშლადი მოწყობილობა, არამედ იგი მიღებულია ერთმანეთისაგან დამოუკიდებლად, დამზადებული ნაწილების აწყობის შედეგად. ამან უზრუნველყო მისი მაღალი სიცოცხლისუნარიანობა და მოგვცა საშუალება პერსონალური კომპიუტერის მუდმივი განვითარების. მათ რიცხვშია ის, როგორც მართვის მოწყობილობა.

ერთკრისტალიანი კომპიუტერის საფუძველზე აგებული მმართველი კომპიუტერის თავისებურებას წარმოადგენს უმრავლესი მოწყობილობების შესრულება მაღალი დონის ინტეგრაციის მქონე მიკროსქემის სახით.

## 6.5. მექატრონული სისტემების მართვის კომპიუტერული სისტემების

### კომპიუტერის ძირითადი აპარატურული კომპონენტები

IBM PC - ტიპის კომპიუტერის ძირითად ელემენტებს წარმოადგენს სისტემური დაფა და მასზე მყოფი პროცესორი, ოპერატიული მეხსიერება და სისტემური სალტე, სხვა მოწყობილობები უერთდება გასართებს (სლოტებს), რომლებიც დაყენებულია სისტემურ დაფაზე.

მთავარ ელემენტად ითვლება მიკროპროცესორი - ელექტრონული პროგრამულად მართვადი მოწყობილობა მიკროსქემის სახით, რომელიც ახორციელებს ინფორმაციის დამუშავებას და მართავს მისი გადაცემის პროცესებს. მიკროპროცესორები განსხვავდება ერთმანეთისგან ტიპებით და ტექტური სიხშირეებით. ტექტური სიხშირე მოქმედებს წარმადობაზე, პროცესორის და კომპიუტერის ფასზე მთლიანობაში. წარმადობაზე მოქმედებს აგრეთვე პროცესორის ტიპი, რადგან სხვადასხვა მოდელის პროცესორი ითხოვს ტექტების სხვადასხვა რაოდენობას ერთი და იმავე ოპერაციების შესასრულებლად. ოპერატიული მეხსიერება - წარმოადგენს სწრაფმოქმედი მეხსიერების ტიპს, რომელიც გამოიყენება მონაცემების და ინფორმაციის შესანახად პროცესორის მიერ ინფორმაციის დამუშავების პროცესში.

კვების ძაბვის გამორთვისას ოპერატიული მეხსიერების შემცველი ინფორმაცია იკარგება, მაგრამ ბევრ სისტემაში, რომლებიც გამოიყენება მრეწველობაში გათვალისწინებულია სპეციალური მოწყობილობა, რომელიც საშუალებას გვაძლევს შევინარჩუნოთ მეხსიერების ელექტროკვება საკმაოდ დიდი დროის განმავლობაში და ამრიგად, შევინარჩუნოთ მონაცემები მოულოდნელი, მაგალითად, ძირითადი ელექტროკვების ავარიული გათიშვისას.

ინფორმაციის გაცვლას ოპერატიულ მეხსიერებასა და გარე მოწყობილობებს შორის ეწოდება შეტანა-გამოტანა: ის ხორციელდება სპეციალური ელექტრონული სქემების საშუალებებით - აპარატურის კონტროლერებით (გარე მოწყობილობებით). კონტროლერები ურთიერთქმედებენ პროცესორთან და მეხსიერებასთან სისტემური მაგისტრალის მეშვეობით, რომელსაც სალტე ეწოდება.

მართვის კომპიუტერის არქიტექტურა ეთანადება (IBM PC) -ს ტიპს და შეესაბამება კომპიუტერების აგების პრინციპებს, რომლის ფორმულირებაც მოახდინა ფონ ნეიმანმა. ამ ტიპის კომპიუტერებში მონაცემების და ბრძანებების შესანახად გამოიყენება ერთი და იგივე ოპერაციული მეხსიერება. პროცესორი მეხსიერების უჯრედიდან იღებს ბრძანების კოდს და ასრულებს მას. ამავე დროს მას შეუძლია ამოიღოს სხვა უჯრების შემცველობაც, რომლებშიც ბრძანების შესასრულებლად საჭირო მონაცემებია განთავსებული, შემდეგ პროცესორი იღებს შემდეგი ბრძანების კოდს მეხსიერების მორიგი უჯრედიდან ან იმ უჯრედიდან, რომლის მისამართიც ნაჩვენებია შესრულებად ბრძანებაში. ეს ბრძანებაც სრულდება და ა. შ. ეს პროცესი შეიძლება დაირღვეს წყვეტის მოთხოვნის მოსვლისას.

პროცესორისა და ოპერატიულ მეხსიერებას შორის კავშირი ხორციელდება ლოკალური სალტის მეშვეობით. სალტე ეს არის ფიზიკური ჯგუფი ხაზების (გამტარების) სიგნალების გადასაცემად, რომელთაც აქვთ მსგავსი ფუნქციები კომპიუტერული (მიკროპროცესორული) სისტემის ჩარჩოებში. ჩვეულებრივ სალტე შესდგება სამი ჯგუფის გამტარებისგან: მისამართების სალტე, მონაცემების სალტე და მართვის სალტე. კომპიუტერის სწრაფქმედება დამოკიდებულია სალტეში სიგნალების გადაცემის სიხშირეზე. სალტის სიხშირე თანხმდება პროცესორი და მეხსიერების შესაძლებლობებთან და შეიძლება აწევდეს 1000 მგც-ს და მეტს. თანამედროვე კომპიუტერებში შეინიშნება სალტის სიხშირის ზრდის ტენდენცია მონაცემების გაცვლის განსახორციელებლად პროცესორსა და მეხსიერებას შორის.

## **6.6. მოთხოვნები მექატრონული სისტემების კომპიუტერული მართვის სისტემების კომპიუტერის აპარატურისადმი**

1. სწრაფქმედების მოთხოვნა მმართველი კომპიუტერისადმი. კომპიუტერის სწრაფქმედება უნდა იყოს საკმაოდ მაღალი, იმისათვის მკს-ის მუშაობა სრულდებოდეს რეალურ დროში. მართვის ციკლის დრო უნდა იყოს შეთანხმებული მართვის კონტურის ელემენტების დინამიკურ თვისებებთან და გარე ზემოქმედების ცვლილების სიჩქარესთან. მართვის ციკლის ხანგრძლივობა უნდა იყოს იმდენად

მცირე, რომ პრაქტიკულად მართვის ობიექტის მოძრაობა ხდებოდეს ისევე, როგორც ეს იყო უწყვეტი მართვისას.

2. მოთხოვნა შესაძლებლობისადმი საჭირო რაოდენობის გარე მოწყობილობების ჩართვისა: გადამწოდების და შემსრულებელი ელემენტების. მმართველ კომპიუტერს უნდა გააჩნდეს სიგნალების შეტანა და გამოტანის პორტების საკმაო რაოდენობა და გასართების (სლოტების), გარე მოწყობილობების მკს-ის შემადგენლობაში. ეს რაოდენობა დამოკიდებულია მკს-ის სტრუქტურასა და ობიექტის სამართავი კოორდინატების რაოდენობაზე.
3. მოთხოვნები კომპიუტერის ოპერატიული მეხსიერების მიმართ. ოპერატიული მეხსიერების მოცულობა უნდა იყოს საკმარისი მართვის პროგრამების რეალურ დროში რეალიზაციისათვის. განისაზღვრება პროგრამების რაოდენობით და სირთულით, მონაცემების მოცულობით, რომლებიც ერთდროულად (იმავედროულად) უნდა იმყოფებოდნენ კომპიუტერის ოპერატიულ მეხსიერებაში მკს-ის ყველა აუცილებელი მუშაობის რეჟიმების რეალიზაციისას.
4. მოთხოვნები გაბარიტების, მასისა და აპარატურის მოცულობის მოხმარებული სიმძლავრისადმი. გაბარიტები, მასა, კომპიუტერის აპარატურის მოცულობა და კომპიუტერის მიერ მოხმარებული სიმძლავრე უნდა იყოს მინიმალური.
5. მოთხოვნები მმართველი კომპიუტერის საიმედოობისადმი. საიმედოობის მაჩვენებლები (მაგალითად, მუშაობის საერთო ვადა, მტყუნებათა შორის ნამუშევარი დრო) უნდა იყოს არანაკლებ მოთხოვნადი, რომელიც გამომდინარეობს სისტემის დანიშნულებისაგან და მისი ექსპლოატაციის პირობებისაგან.
6. მოთხოვნები მმართველი კომპიუტერის აპარატურის ღირებულებისადმი. კომპიუტერის ღირებულება უნდა იყოს მინიმალური ყველა ზემოთ ჩამოთვლილი მოთხოვნების შესრულების პირობით.

## **თავი 7 ციფრულ - ანალოგური და ანალოგურ - ციფრული გარდამქმნელების სტატიკური და დინამიკური მახასიათებლები**

კომპიუტერული მართვის სისტემების თვისებები განპირობებულია არა მხოლოდ სიგნალების დაკვანტვით დროში, არამედ მათი დაკვანტვითაც დროის მიხედვით, რომლებიც მიმდინარეობენ სიგნალების გარდამსახებში აცგ - ში და ცაგ-ში. ქვემოთ ჩვენ განვიხილავთ ამ მოწყობილობების სტატიკურ და დინამიკურ მახასიათებლებს.

### **7.1. აცგ -ს მოდელი**

აცგ-ში შემავალი ანალოგური ძაბვა  $U_{\text{გა}}$  გარდაიქმნება მთელ რიცხვად. ამავე დროს იგი ექვემდებარება ან დამრგვალებას ან წაკვეთას მოწყობილობის ტიპთან დამოკიდებულებით. ასეთ ოპერაციას ეწოდება დაკვანტვა დონით და აიხსნება იმით, რომ გამომავალი სიდიდის  $M_{\text{გგ}}$ -ს წარმოდგენა ციფრულად შეესაბამება სიგნალების ფიქსირებულ დონეებს, რომლებიც ერთმანეთისაგან განსხვავდება ზოგიერთი დისკრეტული მნიშვნელობებით, რომლებიც ჯერადია მუდმივი სიდიდის  $\Delta_{\text{გგ}}$  -სი, ორობითი კოდის უმცროსი თანრიგის წონის აცგ-ს გამოსასვლელზე.

სიგნალების დაკვანტვა დონით აცგ - ში გამოისახება (აისახება) მისი საფეხუროვანი სტატიკური მახასიათებლით (ნახ. 7.1), საფეხურების რაოდენობა ტოლია



მაქსიმალური ათობითი რიცხვის  $M_{\text{სგ}}$ , რომელიც მიიღება ეცგ - ს გამოსასვლელზე. რეალურად რიცხვები ეცგ-ს გამოსასვლელზე ფორმირდება ორობითი კოდის სახით, რომელთაც აქვთ  $N_{\text{სგ}}$  თანრიგები, თუ არ ჩავთვლით ნიშნის თანრიგს. ამიტომ ყველაზე დიდი აბსოლუტური მნიშვნელობა გამომავალი რიცხვის ტოლია:

$$M_{\text{სგმ}} = 2^{N_{\text{სგ}}} - 1$$

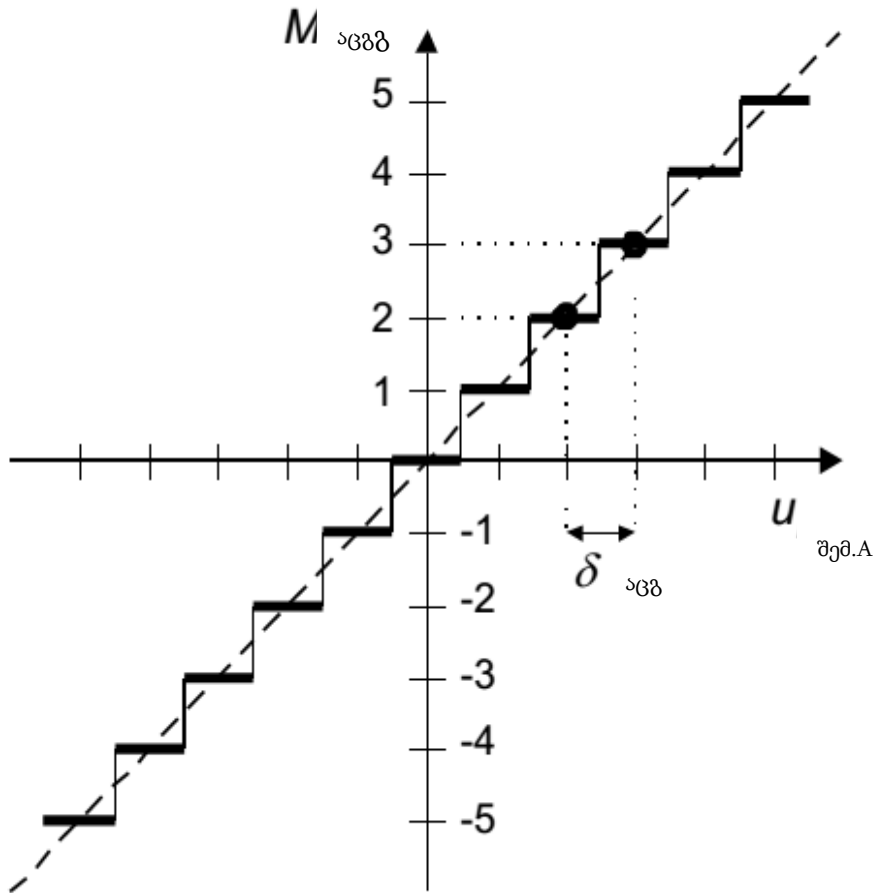
მას შეესაბამება შემავალი სიგნალის მაქსიმალური აბსოლუტური მნიშვნელობა  $U_{\text{შემA.max}}$ . ამიტომ  $\delta_{\text{სგ}}$  - ის ორობითი კოდის უმცროსი თანრიგის წონა განისაზღვრება ფორმულით:

$$\delta_{\text{სგ}} = \frac{U_{\text{შემA.max}}}{2^{N_{\text{სგ}}} - 1}$$

ამავე დროს  $N_{\text{სგ}} \gg 1$  ფორმულა მარტივდება:

$$\delta_{\text{სგ}} \approx \frac{U_{\text{შემA.max}}}{2^{N_{\text{სგ}}}}$$

მაგალითად, როდესაც  $N_{\text{სგ}} = 10$  და  $U_{\text{შემA.max}} = 10$  ვ.  $\delta_{\text{სგ}} \approx 10\text{მვ}$ .



ნახ. 7. 1. ავგ - ს სტატიკური მახასიათებელი

დონის მიხედვით დისკრეტიზაციის შედეგად წარმოიშობა გარდაქმნის ცდომილება ავგ -ს მეშვეობით. ავგ -ს სტატიკური მახასიათებლების საშუალებით დასტურდება, რომ ყველაზე დიდი სტატიკური ცდომილება ტოლია  $\delta_{ავგ}$  - ს ორობითი კოდის უმცროსი თანრიგის წონისა.

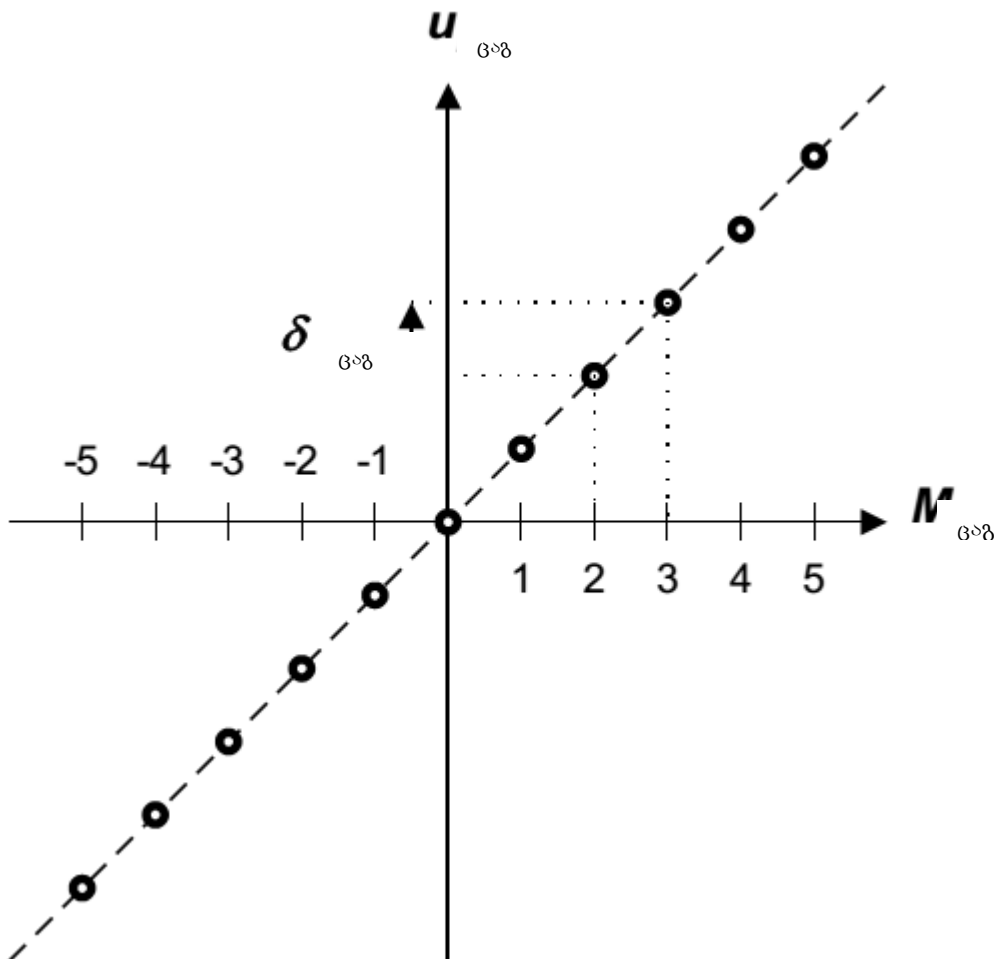
ანალოგურ - ციფრული გარდაქმნა ხორციელდება რაღაც გარკვეული დროის განმავლობაში  $I_A$ , აქედან გამომდინარე ავგ-ს აღწერისას უნდა გავითვალისწინოთ დროით დაყოვნების რგოლი გადამცემი ფუნქციით:

$$W_{ავგ1}(S) = e^{-sT_A}$$

ანალიზის და სინთეზის ამოცანების გადაჭრისას მიზანშეწონილია ეს რგოლი ჩავრთოთ სისტემის კომპიუტერული მართვის მათემატიკური მოდელის უწყვეტ ნაწილში.

## 7.2. ცაგ - ის მოდელი

ცაგ-ის მოდელი იგება არაწრფივი სტატიკური მახასიათებლების მქონე ბლოკისა და იმ ბლოკის, რომელიც ითვალისწინებს ციფრულანალოგური გარდაქმნის დინამიკას, გაერთიანების შედეგად. გამომავალ ძაბვას  $U_{\text{ცაგ}}$  - ის შეუძლია მიიღოს მხოლოდ დისკრეტული მნიშვნელობები პროპორციული მთელი რიცხვების  $M_{\text{ცაგ}}$ , რომლებიც მიეწოდება მის შესასვლელს. ამიტომ ცაგ-ის სტატიკურ მახასიათებელს აქვს სპეციფიკური დისკრეტული „წერტილოვანი სახე“ (ნახ. 7. 2).



ნახ. 7-2. ცაგ-ის სტატიკური მახასიათებელი.

პროპორციულობის კოეფიციენტი  $S_{\text{ცაგ}}$  გამომავალ  $U_{\text{ცაგ}}$ . ძაბვასა და შესასვლელზე  $M_{\text{ცაგ}}$  - ს შორის წარმოადგენს ცაგ - ის უმცროსი თანრიგის ერთეულის წონას. მაქსიმალური გამომავალი ძაბვა  $U_{\text{ცაგ.მ}}$ . ფორმირდება ცაგ - ის შესასვლელზე უდიდესი მთელი რიცხვის  $M_{\text{ცაგ.მ}}$  - ის მნიშვნელობისას, რომელსაც აქვს  $N_{\text{ცაგ}}$  თანრიგები ფორმულის შესაბამისად.

$$U_{\text{ცაგ.მ}} = \delta_{\text{ცაგ}} M_{\text{ცაგ.მ}}$$

$$\text{სადაც } M_{\text{ცაგ.მ}} = 2^{N_{\text{ცაგ}}} - 1.$$

პრაქტიკისათვის საკმარისი სიზუსტით ციფრულ - ანალოგური გარდამსახის დინამიური თვისებები შეიძლება აღვწეროთ აპროიდული რგოლის საშუალებით, რომლის გადამცემ ფუნქციას გააჩნია სახე:

$$W_{\text{ცაგ}^1}(S) = \frac{1}{T_{\text{ცაგ}} S + 1}$$

სადაც  $T_{\text{ცაგ}}$  - დროის მუდმივაა.

ანალიზის და სინთეზის ამოცანების გადაჭრისას მიზანშეწონილია ეს რგოლი ჩავრთოთ სისტემის კომპიუტერული მართვის მათემატიკური მოდელის უწყვეტ ნაწილში.

### 7.3. ცაგ - ის და აცგ - ს სტატკური მახასიათებლების გაწრფივება

აცგ - ს და კომპიუტერის გამოყენებისას, რომლებიც მუშაობენ მონაცემებთან მნიშვნელოვანი რაოდენობის თანრიგებით (8 .....16 და მეტი თანრიგებით) და

ცაგ - ი, რომელსაც აქვს არა ნაკლებ 10 ორობითი თანრიგებისა, დაკვანტვის ეფექტი დონის მიხედვით სუსტად ახდენენ ზემოქმედებას მამ-ის თვისებებზე. ამიტომ ანალიტიკური გამოკვლევებისას და პროექტირების პირველ ეტაპებზე კომპიუტერული მართვის სისტემებს, რომლებიც ფუნქციონირებენ დაკვანტვით დონის მიხედვით

უგულვებელყოფენ (არაფრად მიიჩნევენ), თვლიან რომ ეს სისტემა იმპულსურია. შემდეგ ეტაპებზე შესაძლებელია ჩავატაროთ ანალიზი შესაქმნელი სისტემის თვისებების, კომპიუტერული გამოკვლევის ჩატარებით მისი დაწვრილებითი მათემატიკური მოდელის, რომელშიც გათვალისწინებულია სიგნალების დაქვანტვა დონის მიხედვით.

აცგ - ს და ცაგ - ის სტატიკური მახასიათებლების გაწრფივება დაფუძნებულია იმის საწინააღმდეგოს დაშვებაზე, რომელიც გამოიყენება უწყვეტი სისტემების სიგნალის ცვლილება. თუ მივიღებთ, რომ აცგ-ს შემავალი სიგნალის ცვლილება მნიშვნელოვნად დიდია გარდამსახის უმცროსი თანრიგის ერთეულის წონაზე, მაშინ ჩვენ უკვე შეგვიძლია უგულვებელყოთ აცგ-ს სტატიკური მახასიათებლის საფეხურებრიობის ზეგავლენა. გაწრფივება ნიშნავს ტეხილი საფეხურებიანი ხაზის შეცვლას რომელიღაც საშუალო წრფევით.

უმცროსი თანრიგის ერთეულის წონის მნიშვნელობა  $\delta_{აცგ}$  - ს აქვს ფიზიკური ზომა, რომელიც ემთხვევა შემავალი ანალოგური სიგნალის ზომებს. უმცროსი თანრიგის ერთეული აცგ-ს გამოსასვლელზე ტოლია უგანზომილებო ერთეულის. ამიტომ ასეთი გაწრფივების შედეგად მიღებული აცგ - ს გადაცემის კოეფიციენტი განისაზღვრება ფორმულით:

$$K_{აცგ} = \frac{1}{\delta_{აცგ}}$$

უდიდესი ცდომილება აცგ - არაწრფივი მახასიათებლიდან წრფივ მახასიათებელზე გადასვლისას არ გადააჭარბებს მოდულით 0,5  $\delta_{აცგ}$ .

ცაგ - თვისაც შეიძლება გამოყენებული იგივე მსჯელობები. შედეგად დისკრეტული „წერტილოვანი“ ცაგ - ის მახასიათებელი იცვლება წრფევით, რომლის დახრის კოეფიციენტი ტოლია:

$$K_{ცაგ} = \delta_{აცგ}$$

რომელიც ტოლია ცაგ -ის გამომავალი სიგნალის უმცროსი თანრიგის ერთეულის წონის.

გაწრფივების შედეგად მიღებული კოეფიციენტები გვაძლევენ საშუალებას, მოვახდინოთ ფორმირება სასარგებლო გადაწყვეტილებებისა ცაგ -ის და აცგ- ს გადაცემის ფუნქციების სინთეზის ამოცანების, რომელთაც აქვთ შემდეგი სახე:

1

$$W_{\text{ცაგ}}(S) = K_{\text{აგ}} W_{\text{ცაგ}^1}(S) = S_{\text{ცაგ}} \frac{1}{T_{\text{ცაგ}} S + 1}$$

1

$$W_{\text{აგ}}(S) = K_{\text{აგ}} W_{\text{აგ}^1}(S) = \frac{1}{\delta_{\text{აგ}}} e^{-stA}$$

ამრიგად, რიგ შემთხვევებში შესაძლებელია უგულვებელვყოთ დონის მიხედვით დაკვანტვა ცაგ - ში და აგ - ში და ციფრული მამ ჩავთვალოთ იმპულსურ სისტემად. ასეთი სისტემა წარმოადგენს წრფივს, რაც გვადლევს საშუალებას, მისი ანალიზისა და სინთეზისათვის გამოვიყენოთ კარგად განვითარებული იმპულსური სისტემების თეორია.

## თავი 8 მექატრონული სისტემების კომპიუტერული მართვა მოძრაობის მართვა რეალურ დროში

### 8.1. მართვის ციკლის ხანგრძლივობის გავლენა იმპულსური სისტემის პროცესებზე

ზემოთ ჩვენ უკვე აღვნიშნეთ, რომ მექანიკური ობიექტის მოძრაობის მართვის სისტემის ნორმალური ფუნქციონირება შეიძლება განხორციელდეს მხოლოდ იმ პირობით, რომ ეს მართვა ხორციელდება რეალურ დროში.

მმართველ კომპიუტერს უნდა ჰქონდეს შესაძლებლობა დაასრულოს ყველა ოპერაცია, მართვის კოდის ფორმირებასთან დაკავშირებით, რომელიც დაწყებულია დაუყონებლივ ტაიმერის მორიგი იმპულსის შემოსვლისთანავე, ტაიმერის შემდეგი იმპულსის გამოჩენამდე. მაგრამ თვითონ ეს ფაქტი არ არის საკმარისი. აუცილებელია რომ, უკუკავშირის სიგნალების გადამწოდების გამოკითხვის სიხშირე და მართველი ზემოქმედების გაცემა სისტემის შემსრულებელ უწყვეტ ნაწილზე იყოს საკმაოდ მაღალი.

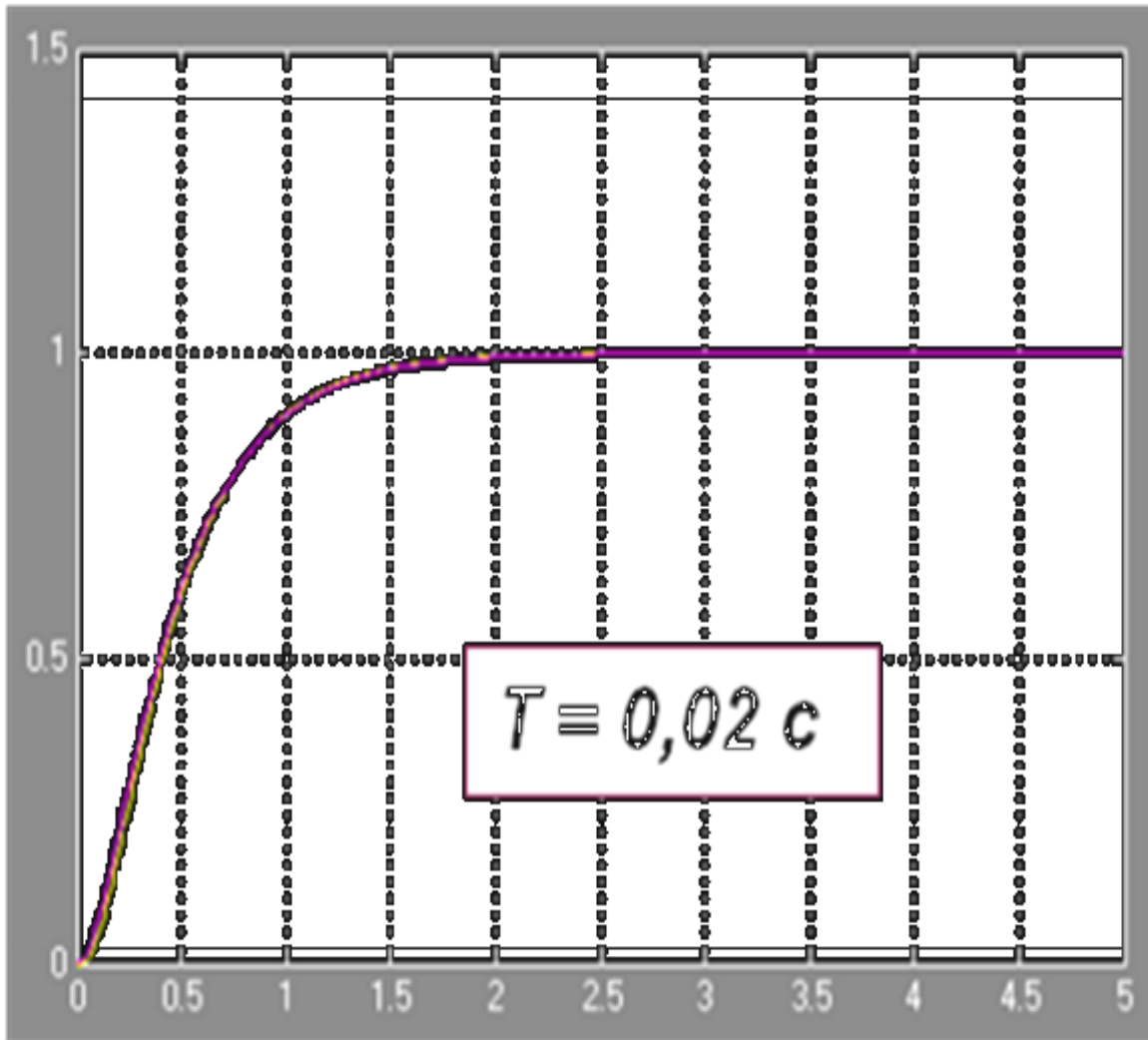
წარმოიქმნება კითხვა? მართვის პროცესის ერთი ციკლის დროს რა მნიშვნელობის, დროითი დაკვანტვის  $T$  პერიოდზე, შეიძლება ვილაპარაკოთ მართვაზე რეალურ დროში, როცა მისი რომელი მნიშვნელობისას მექანიკური ობიექტის მართვა ვერ ხერხდება? თუ ამ საკითხს განვიხილავთ რამდენადმე გამარტივებულად, მაშინ შეგვიძლია ვთქვათ, რომ მართვა რეალურ დროში ხორციელდება იმ შემთხვევაში, როდესაც თუ დროით დაკვანტვა „შეუმჩნეველია“ კომპიუტერული მართვის სისტემისათვის და პრაქტიკულად არ აისახება მის თვისებებზე.

დისკრეტულობის პერიოდის  $T$  მნიშვნელობა უნდა მიეცეს კომპიუტერული მართვის სისტემის დინამიკური თვისებების მოთხოვნების შესაბამისად.

ეტალონის სახით შეიძლება განხილული იქნას რომელიღაც უწყვეტი სისტემა, რომელსაც აქვს ისეთივე უწყვეტი შემსრულებელი ნაწილი, როგორც კომპიუტერული მართვის სისტემას და აქვს სასურველი თვისებები. ჩვენ მას დავარქვათ უწყვეტი ანალოგი იმ კომპიუტერული მართვის სისტემის, რომელსაც ვქმნით. ფორმალური ხედვის წერტილიდან იგი შეიძლება მივიღოთ იმპულსური სისტემისაგან, როდესაც  $T \rightarrow 0$ .

ცხადია, რომ დროით დაკვანტვის პერიოდის საკმაოდ მცირე მნიშვნელობისას  $T$  დროის მიხედვით, დინამიური თვისებები იმპულსური სისტემის და უწყვეტი ანალოგისა იქმნება ერთმანეთთან მიახლოებული.  $T$  პერიოდის ზრდის შემთხვევაში განსხვავებები ორ სისტემას შორის შესაბამისად თანდათან - გადიდება, მაგრამ დასაწყისში ისინი იქნება უმნიშვნელოები და შეგვიძლია ისინი უგულებელვყოთ. შემდეგ ეს განსხვავებები გახდებიან იმდენად მნიშვნელოვანი, რომ  $T$  პერიოდის შემდგომი ზრდა იქნება დაუშვებელი დინამიკური თვისებების მნიშვნელოვნად გაუარესებისა და კომპიუტერული მართვის სისტემის მდგრადობის დაკარგვის საფრთხის გამო. ამიტომ იმპულსური სისტემის თვისებების უწყვეტ ანალოგთან შედარების გზით  $T$  - ს სხვადასხვა მნიშვნელობების დროს შეიძლება ვიპოვოთ მაქსიმალურად დასაშვები დროით დაკვანტვის მნიშვნელობა  $T_{დას.}$ , რომლის დროსაც იმპულსური სისტემის თვისებები ჯერ კიდევ დააკმაყოფილებს წაყენებულ მოთხოვნებს. იგი შეიძლება განვიხილოთ, როგორც მართვის ზღვარი რეალურ დროში. მ რა თქმა უნდა, ყველა  $T \leq T_{დას.}$  აგრეთვე უზრუნველყოფილი იქნება რეალურ დროში მართვა.

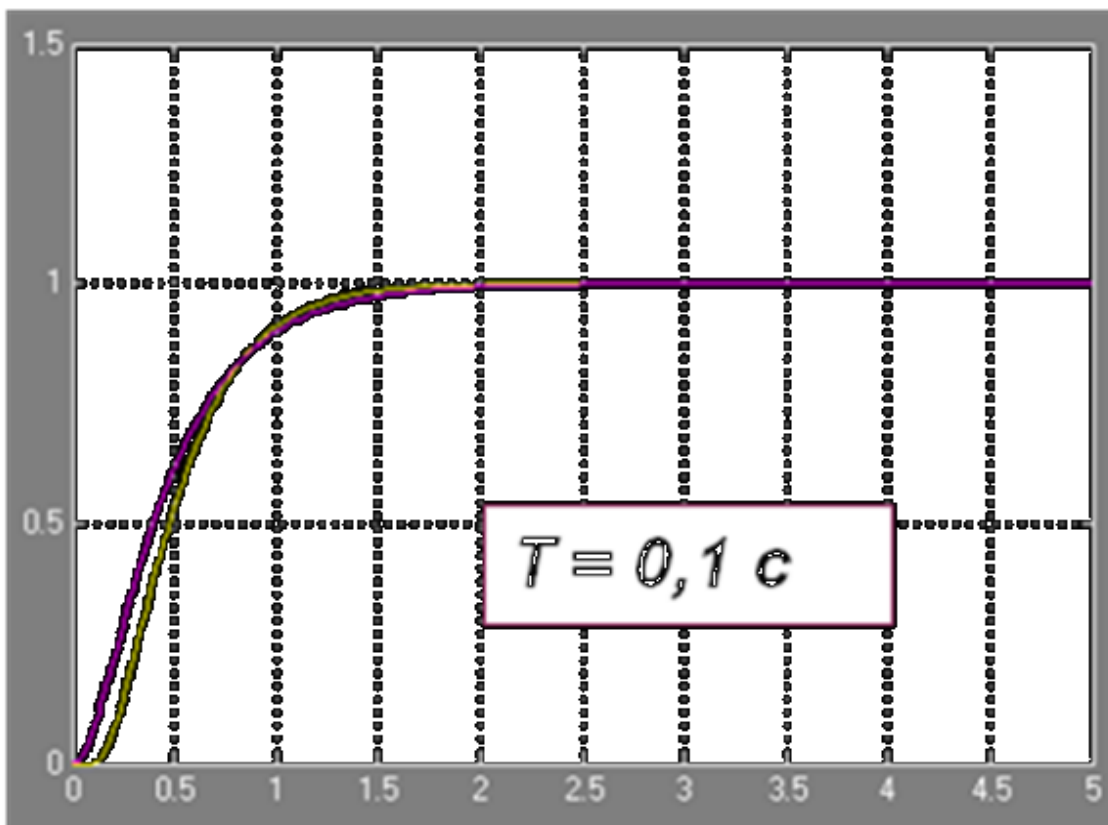
ქვემოთ მოყვანილია გარდამავალი პროცესის მაგალითები უწყვეტ ანალოგში და იმპულსურ სისტემაში დროით დაკვანტვის პერიოდის სხვადასხვა მნიშვნელობების დროს. ნახ. 8-1- ის გრაფიკებიდან ჩანს, რომ როდესაც  $T = 0,02$  წამს გარდამავალი პროცესები ამ ორ სისტემაში პრაქტიკულად ერთმანეთისაგან არ განსხვავდებიან.



ნახ. 8-1.

როდესაც  $T = 0,1$  (ნახ. 8-2) გამოჩნდება მცირე დაყოვნება იმპულსური სისტემის დაწყების პროცესში, მაგრამ გადახრა (აცდენა) უწყვეტი ანალოგის გარდამავალი პროცესისაგან უმნიშვნელოა და იგი შეგვიძლია უგულებელვყოთ.

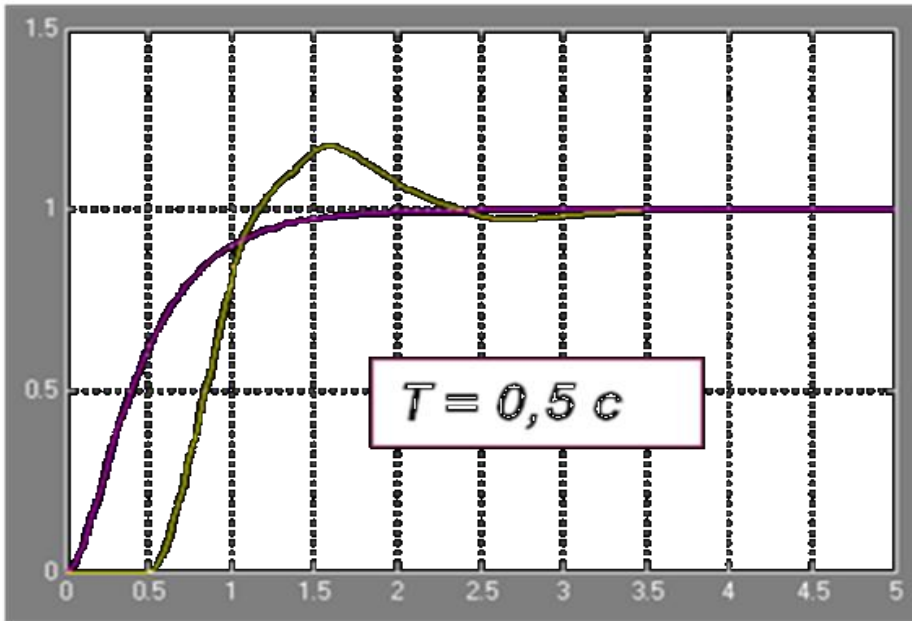




ნახ. 8.2

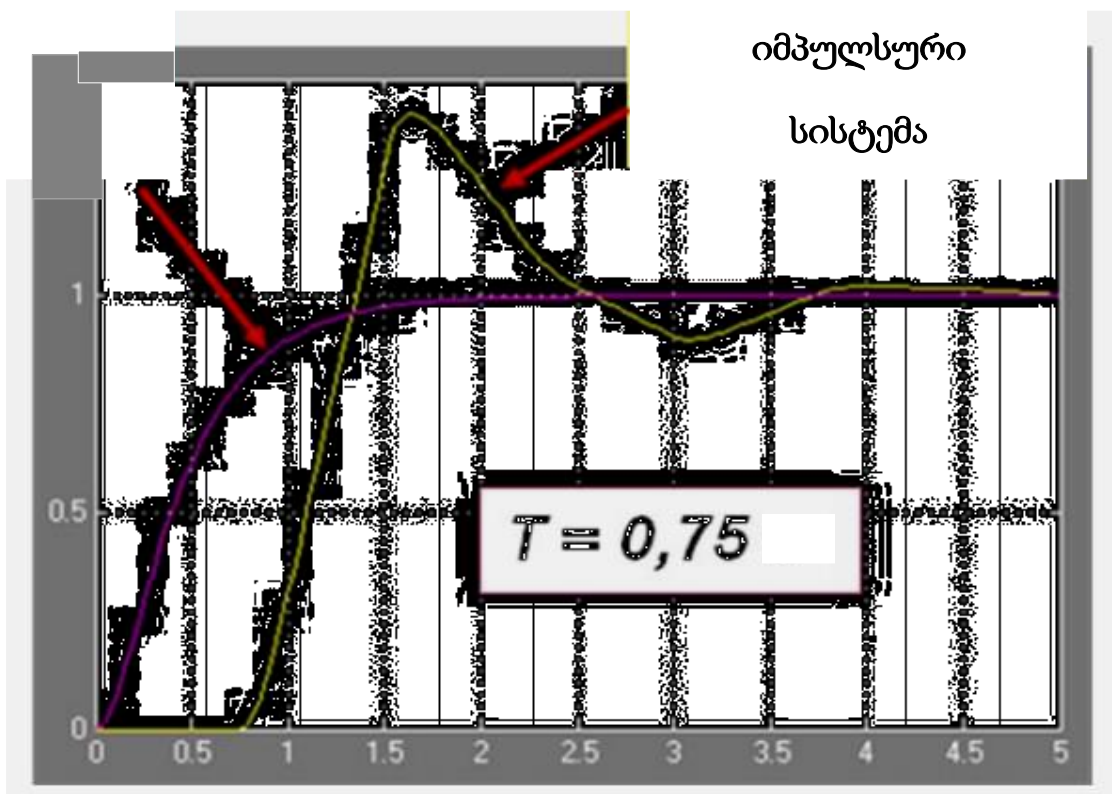
დროით დაკვანტვის პერიოდის დიდი მნიშვნელობებისას ჩანს მნიშვნელოვანი განსხვავებები გარდამავალი პროცესების ჩვენს, მიერ განხილულ ორ სისტემაში.

ასე მაგალითად, როდესაც  $T = 0,5$  წ. (ნახ.8.3.) იმპულსური სისტემის რეაქციაში, გარდა შესამჩნევი დაყოვნებისა, ჩნდება გადარეგულირება და მიდრეკილება რხევებისაკენ. ამრიგად, იმპულსური სისტემის ქცევა, პრინციპიალურად განსხვავდება უწყვეტი ანალოგის ქცევისაგან, ხოლო იმპულსური სისტემის თვისებები შეესაბამება მისთვის წარდგენილ მოთხოვნებს.



ნახ. 8.3.

როდესაც  $T = 0,75$  წამს გარდამავალ პროცესებში განსხვავებები უფრო შესამჩნევია (ნახ. 8.4), ხოლო დროით დაკვანტვის პერიოდის უფრო გადიდებისას იმპულსური სისტემა კარგავს მდგრადობას და ხდება მთლიანად მუშაობის უუნარო.



ნახ. 8.4.

განხილულ მაგალითში იმპულსური სისტემის თვისებები შეიძლება ჩავთვალოთ საკმაოდ მიახლოებულად უწყვეტი ანალოგის თვისებებთან, როდესაც  $T \leq T_{\text{დას.}} = 0,1$  წმ. ამრიგად შეიძლება ჩავთვალოთ, რომ როდესაც  $T \leq 0,1$  წმ კომპიუტერული მართვა ხდება რეალურ დროში.

მნიშვნელოვანია აღვნიშნოთ,  $T_{\text{დას.}}$  მნიშვნელოვნად დამოკიდებულია იმ მოთხოვნილებებზე, რომელიც წაეყენება კომპიუტერულ მართვას, რომლებმაც ნახეს ასახვა უწყვეტ ანალოგში და მისი უწყვეტი შემსრულებელი ანალოგიური შემსრულებელი ნაწილის დინამიკურ თვისებებზე, მაგალითად, აუქჩარებლად მიმდინარე ქიმიური პროცესების (წარმოებების) და შენობაში ტემპერატურის სამართავად რეალურ დროში ხშირად, დაკვანტვის პერიოდი დროში შეიძლება შეადგენდეს რამდენიმე წამიდან წუთამდე, ხოლო ჩარხებისა და რობოტების მაღალსიჩქარიანი პრეზიული ამძრავების კომპიუტერული მართვისათვის რეალურ დროში საჭიროა  $T$  -ს მნიშვნელობა უნდა მოთავსდეს  $0,1 \dots 10$  წმ-ის დიაპაზონში. ნათელია, რაც ნაკლებია  $T_{\text{დას.}}$ , მით უფრო მეტი წარმადობის უნდა იყოს მმართველი კომპიუტერი. ამიტომ კონკრეტული ტიპის კომპიუტერის ან მიკროკონტროლერის შერჩევა, კომპიუტერული მართვის სისტემისათვის უნდა დაიწყოს დროში დაკვანტვის პერიოდის დასაშვები მნიშვნელობის განსაზღვრიდან.

## **8. 2. მოთხოვნები, რომლებიც წაეყენება მართვის ციკლის ხანგრძლივობის შერჩევას მართვის რეალურ დროში განსახორციელებლად.**

ზემოთ იყო ნათქვამი, რომ როდესაც  $T \leq T_{\text{დას.}}$  იმპულსური სისტემის ხარისხის მაჩვენებლები და მისი უწყვეტი ანალოგის თვისებები საკმაოდ ახლოსაა ერთმანეთთან. აქ  $T_{\text{დას.}}$  - მართვის  $T$  ციკლის ხანგრძლივობის მაქსიმალური დასაშვები მნიშვნელობაა, რომელიც დამოკიდებულია კომპიუტერული მართვის სისტემის სასურველ დინამიკურ თვისებებზე. ამრიგად, აუცილებელია ჩავატაროთ ანალიზი იმპულსური სისტემის თვისებების, განვსაზღვროთ დროით დაკვანტვის პერიოდის მაქსიმალურად დასაშვები მნიშვნელობა და შევარჩიოთ მისი სარეალიზებელი მნიშვნელობა, რომელიც დააკმაყოფილებს პირობას:

$$T \leq T_{\text{დას.}}$$

სხვა მხრივ, როდესაც ჩვენ ვირჩევთ დაკვანტვის პერიოდის მნიშვნელობას, წარმოიქმნება მმართველი კომპიუტერის შერჩევის მნიშვნელოვანი სიძნელეები. მისი წარმადობა შეიძლება აღმოჩნდეს არასაკმარისი ყველა ოპერაციის შესასრულებლად, რაც საჭიროა გადამწოდებისაგან (პირველადი გარდამსახებისაგან) მონაცემების მისაღებად, მონაცემების დასამუშავებლად და მმართველი ზემოქმედების ფორმირებისათვის მოცემულ დროის შუალედში. ამიტომ მიზანშეწონილია შემოვიტანოთ განხილვებში მართვის ციკლის  $T_{\text{min}}$  მნიშვნელობა, რომელიც მიიღწევა არჩეული მმართველი კომპიუტერის გამოყენებისას, ცხადია, რომ  $T_{\text{min}}$  დამოკიდებულია პროცესორის წარმადობაზე, ქვესისტემის მეხსიერების სწრაფქმედებაზე, სალტების

მუშაობის სიჩქარეზე, რომლებიც გამოიყენება კომპიუტერთან მიმართებით გარე მყოფი მკს-ის მოწყობილობების მისაერთებლად, აგრეთვე რეალიზებადი ალგორითმების სირთულეზე (გამოთვლითი ოპერაციების მოცულობაზე).

ამრიგად, კომპიუტერული მართვის რეალურ დროში უზრუნველსაყოფად, მიზანშეწონილია დროითი დაკვანტვის პერიოდის მნიშვნელობა შევირჩიოთ პირობიდან:

$$T_{\min} \leq T \leq T_{\text{დას}}$$

უფრო დაწვრილებითი ანალიზი დროით დაკვანტვის პერიოდის გავლენა კომპიუტერული მართვის სისტემის დინამიკურ თვისებებზე და ამ პარამეტრის მნიშვნელობის შერჩევის მეთოდი მისი რეგულატორების სინთეზისას გადმოცემულია № 13 ლექციაში.

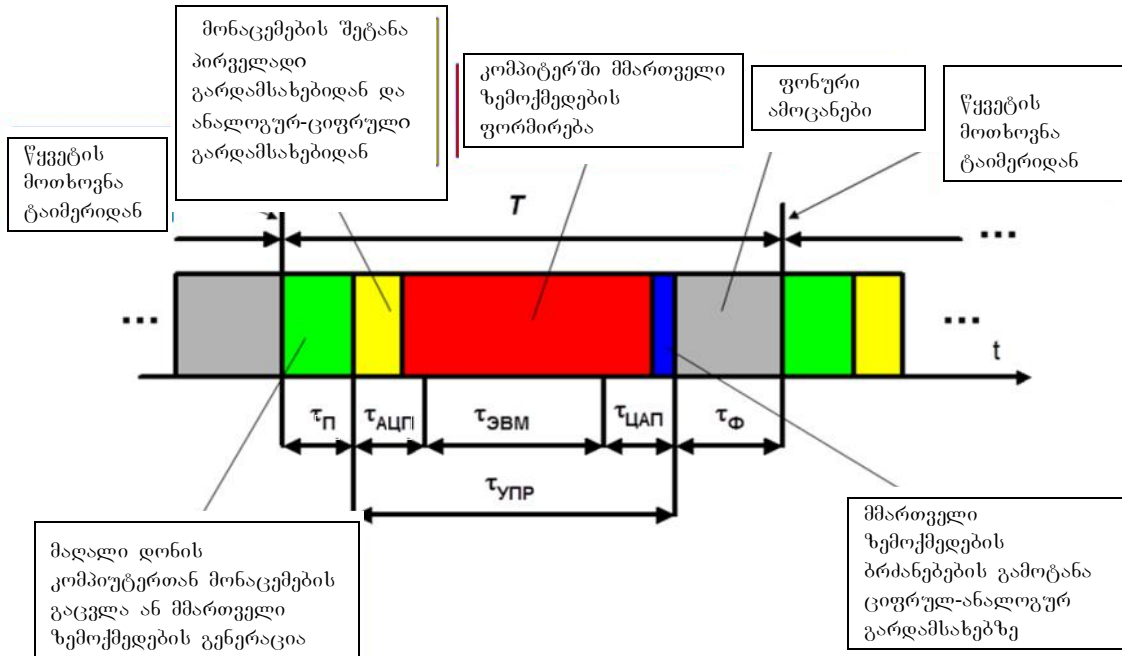
### **8. 3. წყვეტის გამოყენება რეალურ დროში მართვის განხორციელებისათვის**

წყვეტის მექანიზმის გამოყენების მიზანია - უზრუნველყოთ მართვის სისტემის კომპიუტერის სწრაფი რეაქცია, მართვის ობიექტის მდგომარეობის მომხდარ ცვლილებებზე და აგრეთვე ოპერატორის ბრძანებებზე და ტაიმერის ტაქტურ იმპულსებზე, რომლებიც უზრუნველყოფენ მართვის მროცესის მიზმას რეალურ დროსთან. თუ ვერ უზრუნველყოფთ სწრაფ რეაქციას ზემოთ ჩამოთვლილ მოვლენებზე, მაშინ მართვის სიჩქარე იქნება დაბალი, ვერ შევძლებთ შევასრულოთ მოთხოვნები, რომლებიც წაყენებულია მართვის ობიექტის მოძრაობის ხარისხისადმი, ხოლო ზოგიერთ შემთხვევაში შეიძლება მოხდეს სისტემის მტყუნება ან განიცადოს მარცხი. ოპერაციული სისტემა, რომელიც განსაზღვრავს კომპიუტერული მართვის სისტემის მმართველი კომპიუტერის ფუნქციონირებას, უნდა ფლობდეს სწრაფი რეაგირების შესაძლებლობებს წყვეტის მოთხოვნებზე. ასეთი თვისებები აქვთ რეალური დროის ოპერაციულ სისტემებს.

მკს - ის პროგრამული უზრუნველყოფა სრულდება მთავარი (სათავო) სახით, რომლებიც განკუთვნილია იმ ამოცანების გადასაწყვეტად, რომლებიც არ უყენებენ მოთხოვნებს მათი შესრულების სიჩქარეს (ფონური ამოცანები) და ცალკეულ პროგრამულ მოდულებს - წყვეტის დამმუშავებლებს. წყვეტის დამმუშავებლები გამოიძახებიან იმ აუცილებლობით, რომლებიც დაფუძნებულია წყვეტის მოთხოვნებზე ფორმირებულს მკს - ის აპარატურით, იმ კონკრეტული ამოცანების სწრაფი და ოპერატიული გადაწყვეტისათვის, რომლებიც დაკავშირებულია მართვის ზემოქმედების ფორმირებასთან. პროგრამების წყვეტის მოთხოვნების სიგნალების ფორმირება ხდება აპარატურული საშუალებებით. პროგრამებს შეუძლიათ აკრძალონ ან ნება დართოთ წყვეტებს.

მმართველი კომპიუტერული სისტემის კომპიუტერის მუშაობის ციკლოგრამაზე (ნახ. 8.5) ნაჩვენებია, რომ ტაიმერიდან წყვეტის მოთხოვნისას, ხდება წყვეტა ძირითადი

(ფონური) პროგრამის შესრულების წყვეტა და გამოიძახება ქვეპროგრამა - წყვეტის დამუშავებისა, რომელიც ახორციელებს მმართველი ზემოქმედების ფორმირებას. უპირველეს ყოვლისა, ეს ქვეპროგრამა უზრუნველყოფს მონაცემების გაცვლას უფრო მაღალი დონის მართვის კომპიუტერთან და მისგან იღებს მმართველ ზემოქმედებას კომპიუტერული



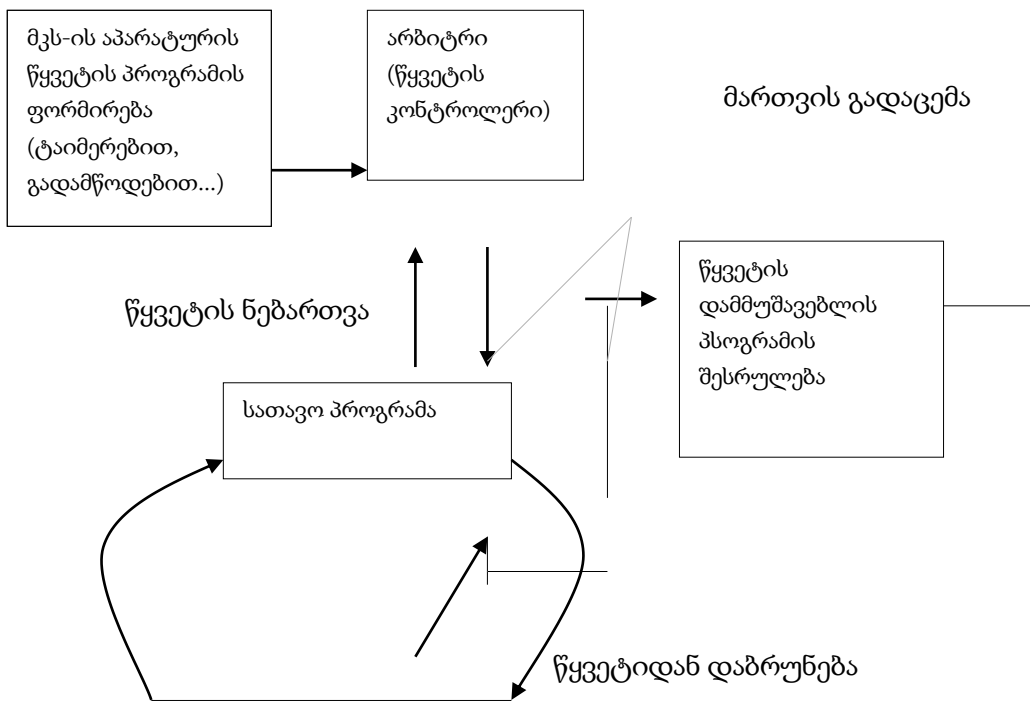
ნახ.8. 5. კომპიუტერული მართვის სისტემის მმართველი კომპიუტერის მუშაობის ციკლოგრამა

მართვის სისტემისათვის. თუ უფრო მაღალი დონის კომპიუტერთან ურთიერთობა არ არის გათვალისწინებული. მაშინ ქვეპროგრამა დამოუკიდებლად ახდენს მმართველი ზემოქმედების გენერირებას, მაგალითად მმართველი კომპიუტერის პროგრამაში ჩადებული ობიექტის მოძრაობის მართვის შესაბამისად.

გასაგებია, რომ აღწერილი ოპერაციების შესრულება არ ხდება მყისიერად და ამაზე იხარჯება გარკვეული დრო  $T_3$ . ქვეპროგრამის მუშაობის შემდეგი ეტაპი დაკავშირებულია პირველადი გარდამსახების (გადამწოდების) გამოკითხვასთან და აუცილებლობის შემთხვევაში შესატანი მონაცემების ანალოგურ - ციფრულ გარდასახვასთან ამ მოქმედებების შესრულებაზე იხარჯება დრო  $\tau_{ანგ}$ . ამ ოპერაციის კვალდაკვალ  $\tau_3$  დროის განმავლობაში კომპიუტერი აწარმოება გამოთვლებს, რომლებიც აუცილებელია მმართველი ზემოქმედების ფორმირებისათვის. ფინალურ ოპერაციას წარმოადგენს მმართველი ზემოქმედების კოდის გადაცემა ცაგ-ის რეგისტრში. ეს ოპერაცია გრძელდება  $\tau_{ანგ}$ . ამის შემდგომ მართვა ისევ გადაეცემა სათავო პროგრამას, რომელიც განაგრძობს ფონური ამოცანების გადაწყვეტას  $\tau_3$  დროის განმავლობაში, ტაიმერიდან წვეტის მორიგი მოთხოვნის მოსვლის მომენტამდე. საჭიროა აღვნიშნოთ,

რომ ფონური ამოცანები იხსნება ეტაპობრივად, შესაძლებელია მართვის რამდენიმე ციკლის განმავლობაში.

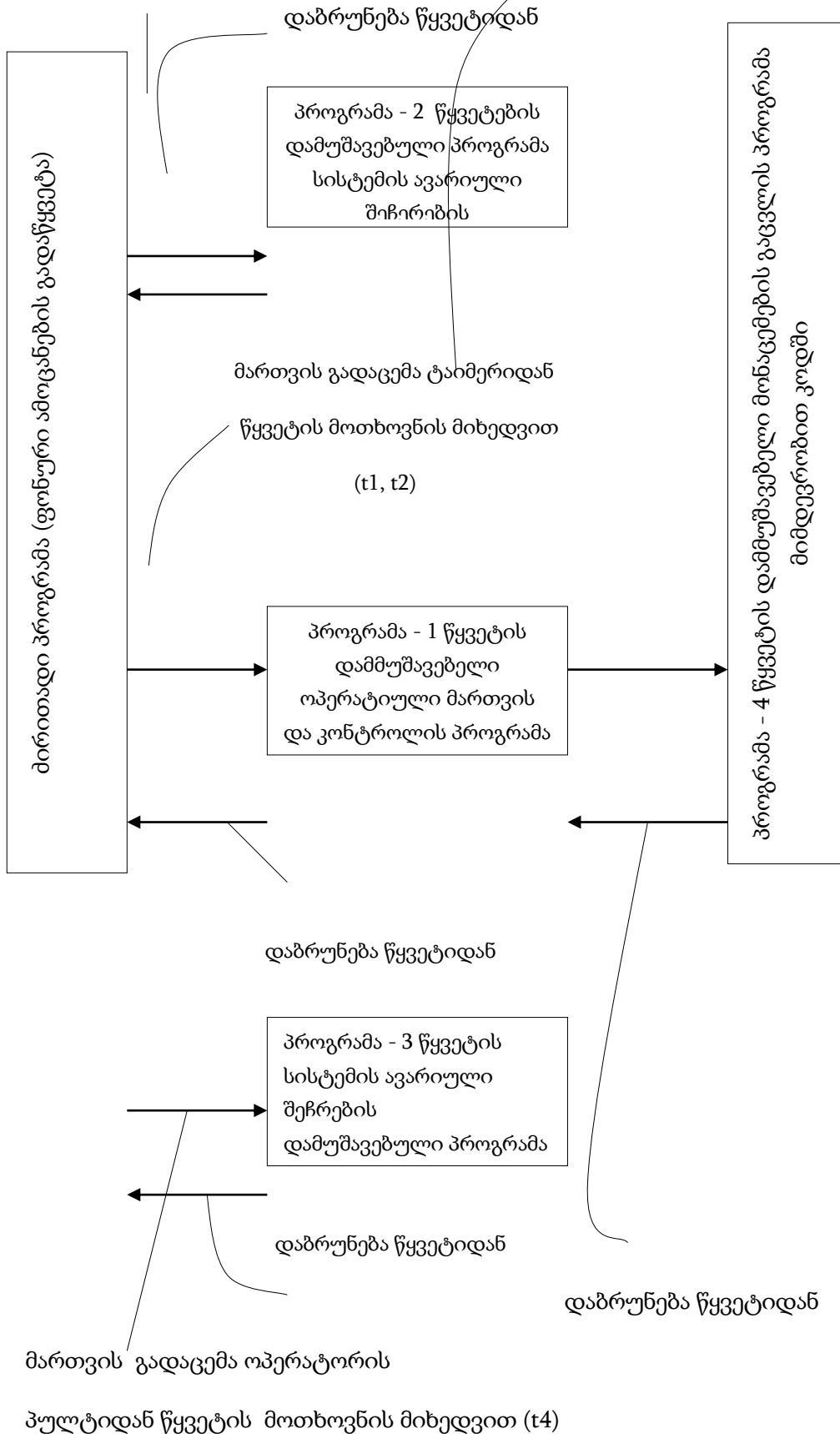
მმართველი ზემოქმედების ფორმირების დრო შეიძლება იყოს არასტაბილური, რადგან მართვის ობიექტის მმართველ ზემოქმედებას შეიძლება ჰქონდეს რამდენიმე შტო, რომელთა რეალიზაციას ესაჭიროება სხვადასხვა რაოდენობის გამოთვლითი ოპერაცია. ამიტომ მართვის პროცესის ერთი ციკლის ხანგრძლივობა  $T$  (დროში დაკვანტვის პერიოდი) უნდა გამოიშუშავდეს იმგვარად, რომ  $\tau_3$  - ს ნებისმიერი ყველა შესაძლო მნიშვნელობისას ფონური ამოცანების გადაჭრის პროცესის ხანგრძლივობა უნდა იყოს დაკვანტვის ერთი პერიოდის ფარგლებში,  $t_3$  უნდა იყოს უკიდურეს შემთხვევაში არაუარყოფითი.

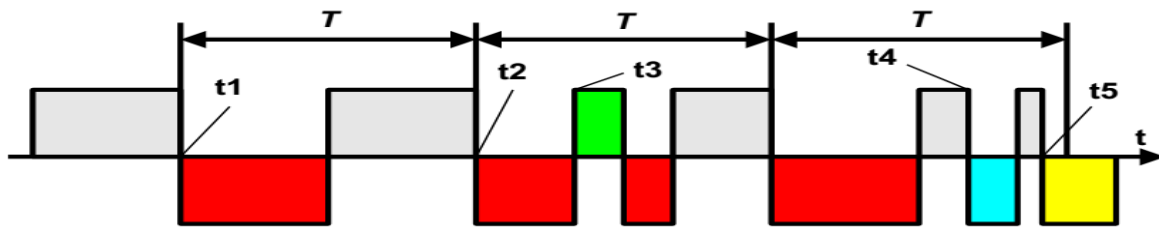


ნახ. 8.6. წყვეტის მოთხოვნის დამუშავება წყვეტის კონტროლერი

მდგომარეობის გადამწოდებისაგან  
მოთხოვნის მიხედვით (t5)

მიმდევრობითი პროტის წყვეტის  
მოთხოვნის მიხედვით (t3)





ნახ. 8.7. წყვეტის დამმუშავებლების - რამდენიმე ქვეპროგრამის მუშაობის მაგალითი

წყვეტის მოთხოვნა შეიძლება ერთდროულად რამდენიმე წყაროსაგან მოვიდეს. ამიტომ ისინი მიეწოდება წყვეტის კონტროლერის შესასვლელებს, რომელიც ამ შემთხვევაში ასრულებს არბიტრის როლს, აანალიზებს მათ, გამოყოფს ყველაზე უფრო პრიორიტეტული წყვეტის მოთხოვნას და თუ ესეთი წყვეტა ნებადართულია, მაშინ ახორციელებს მართვის გადაცემას შესაბამის პროგრამაში - წყვეტა დამმუშავებელში (ნახ. 8.6)

სხვა, ნაკლებად პრიორიტეტული, წყვეტის მოთხოვნები შეიძლება დაგვამახსოვრდეს და შესრულდეს იმ მოქმედებების დამთავრების შემდეგ, რომლებიც გათვალისწინებულია უფრო პრიორიტეტული წყვეტებით. წყვეტის დამმუშავებლის პროგრამის დასრულების შემდეგ ხდება დაბრუნება ძირითადი პროგრამის იმ წერტილში, საიდანაც მოხდა გადასვლა წყვეტის დამმუშავებელზე. შემდეგ ამის კვალდაკვალ გრძელდება ძირითადი პროგრამის შესრულება.

შესაძლებელია ერთი პროგრამის წყვეტა - წყვეტის დამმუშავებლის და გადაცემა მართვის სხვა პროგრამაზე - წყვეტის გადამმუშავებლის. ნახ. 8.7- ზე მაგალითის სახით ნაჩვენებია სათავო პროგრამის ურთიერთქმედება სამ პროგრამასთან წყვეტის დამმუშავებლებთან.

$t_1$  მომენტში ჩნდება წყვეტის მოთხოვნა ტაიმერისაგან და მართვა გადაეცემა წყვეტის 1 დამმუშავებლის პროგრამას, რომელიც ასრულებს ოპერაციებს, რომლებიც დაკავშირებულია მართვის ობიექტის მოძრაობით ოპერატიულ მართვასთან და მართვის სისტემის აპარატურის მდგომარეობის კონტროლთან. ამ პროგრამის მუშაობის დასრულების შემდეგ მართვა უბრუნდება სათავო პროგრამას, რომელიც განაგრძობს ფონური ამოცანების გადაწყვეტას. დროის  $t_2$  მომენტში ხელახლა გამოიძახება პროგრამა 1, მაგრამ დროის  $t_3$  მომენტში ჩნდება წყვეტის მოთხოვნა, რომლის გამოც პროგრამა 1-ის შესრულება შეჩერდება და გამოიძახება პროგრამა - 4 წყვეტის დამმუშავებელი. მისი მუშაობის დამთავრების შემდეგ გრძელდება 1 პროგრამის ფუნქციონირება, ხოლო შემდგომ ისევ მუშაობს ფონური პროგრამა, რომელიც აგრძელებს ფონური ამოცანების ამოხსნას. შეიძლება შევნიშნოთ, რომ სათავო პროგრამის მუშაობის დრო განხილულ ტაქტში ნაკლებია, ვიდრე წინა ტაქტში, მაგრამ



კომპიუტერი ასწრებს შეასრულოს ყველა აუცილებელი ოპერაცია, რომელიც დაკავშირებულია მმართველი ზემოქმედების ფორმირებასთან ამრიგად, მართვა ხორციელდება რეალურ დროში. მესამე ტაქტში ჯერ გამოიძახება პროგრამა - დამმუშავებელი 1, შემდეგ კომპიუტერი შეუდგება ფონური ამოცანების გადაწყვეტას, მაგრამ დროის t<sub>4</sub> მომენტში ხდება სათავო პროგრამის წყვეტა და მართვა გადაეცემა პროგრამას - წყვეტის დამმუშავებელი 3, რომელიც ემსახურება ოპერატორის პულტს. მისი მუშაობის დამთავრების შემდეგ გრძელდება სათავო პროგრამის ფუნქციონირება, მაგრამ დროის t<sub>4</sub> მომენტში ჩნდება წყვეტის მოთხოვნა სისტემის ავარიული (მარცხის) მდგომარეობის გადამწოდიდან. სათავო პროგრამის ფუნქციონირება წყვეტა და გამოიძახება სისტემის ავარიული გაჩერების პროგრამა.

#### 8.4. რეალური დროის ოპერაციული სისტემები

საერთო დანიშნულების ოპერაციული სისტემები (ოს), მაგალითად ფართო გამოყენებადი Windows XP ან UNIX, აქვთ თვისებები ოპტიმალურად გადაანაწილოს თავისი გამოთვლითი რესურსები მომხმარებლებსა და გაშვებულ პროცესებს შორის, მაგრამ არ იძლევა იმის თავდებობას, რომ სწრაფად გადაერთვება უფრო მნიშვნელოვან პროცესზე. გადართვის პროცესის ხანგრძლივობა მართის მოთხოვნულ პროგრამაზე არასტაბილური და შეიძლება შეადგენდეს ათობით მილიწამს. ამიტომ ასეთი ოს არ წარმოადგენენ რეალურ დროს ისინი არ შეიძლება გამოყენებული იქნან მექატრონული ობიექტების კომპიუტერული მართვის სისტემებში.

მთავარი თავისებურება რეალური დროის ოპერაციული სისტემების მდგომარეობს იმაში, რომ იგი განკუთვნილია მართვის სისტემის აპარატურის კომპონენტებთან მუშაობისათვის, რომლებიც არ იმყოფებიან მმართველ კომპიუტერში და დაუყოვნებელი რეაგირებისათვის იმ მოვლენებზე, რომლებიც წარმოიშვება მართვის ობიექტში. პროგრამის შემუშავებისა და აწყობის მოხერხებულობისათვის ოსრდ - პროგრამული უზრუნველყოფის, შეიძლება ჰქონდეს მომხმარებლის ინტერფეისი მსგავსი საერთო მოხმარების ოს - ის ინტერფეისისა. მაგრამ თვითონ ოსრდ მოწყობილია სრულიად სხვაგვარად. ძალზე მნიშვნელოვანია, რომ ოსრდ-ს ქცევა იყოს მთლიანად წინასწარ ცნობილი. ოსრდ იმით განსხვავდება ჩვეულებრივი ოს-გან რომ დრო, რომელიც იხარჯება გარკვეულ გამოთვლით სამუშაოებზე არ აჭარბებს დადგენილ ზღვარს. POSIX1003.1 სტანდარტის დებულებების შესაბამისად ოსრდ აღიქმება როგორც ოს, რომელსაც აქვს უნარი უზრუნველყოს სერვისის საჭირო დონე გარკვეული შეზღუდული დროის განმავლობაში. ოსრდ-ს რეაქციის დრო წყვეტაზე ჩვეულებრივ არ აჭარბებს 8 მკწ. სხვადასხვა მონაცემების მიხედვით ცნობილია, რომ კონტექსტის გადართვის დრო, რაც აუცილებელია მართვის ახალი პროცესისათვის გადასაცემად შეადგენს არა უმეტეს 160 მკწმ.

ყველაზე ცნობადი პოპულარული კომერციულ ოსრდ-ბი, რომლებიც გამოიყენება კომპიუტერული მართვის სისტემების ასაგებად შეიძლება აღვნიშნოთ QNX, VxWorks,

Windows CE, PSOS, OS -9, Linx OS, VRTX. ხშირად გვხვდება აგრეთვე რეალური დროის არაკომერციული სისტემები მაგალითად, RTLinux.

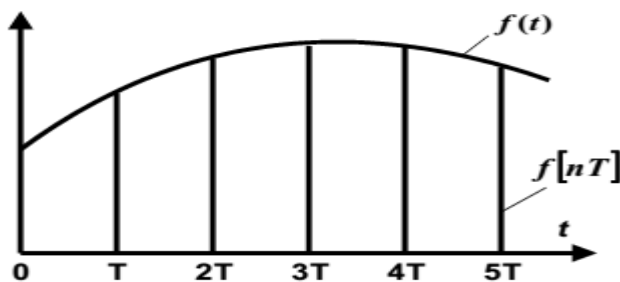
შედარებით მარტივი კომპიუტერული მართვის სისტემის ასაგებად შეიძლება გამოყენებული იქმას OS DOS.

იმის მიუხედავად მას აქვს არასაკმარისი შესაძლებლობები მომხმარებელთან გრაფიკული საშუალებებით ურთიერთობის აგების სფეროში, ასეთი ოს გვაძლევს საშუალებას, უზრუნველვყოთ წყვეტა გარე ან კომპიუტერის ტაიმერისაგან და მოვახდინოთ ფორმირება მმართველი ზემოქმედებისა სიხშირით რამდენიმე ასეული ჰერცით რამდენიმე კილოჰერცამდე. ხშირად ეს სიხშირე საკმარისია მაღალხარისხიანი ციფრული მოთვალთვალე სისტემების ასაგებად. ამასთან ერთად უნდა გავითვალისწინოთ, რომ DOS ვერ პასუხობს მრავალამოცანიანი სისტემის მოთხოვნებს, ხოლო პროგრამის დაწერის პროცესი და მისი ჩართვა დრაივერების სისტემაში, რათა უზრუნველვყოთ მისი მუშაობა კომპიუტერული მართვის სისტემის აპარატურულ კომპონენტებთან, არის საკმაოდ შრომატევადი.

## თავი 9 კომპიუტერული მართვის სისტემების სიგნალების და ფუნქციონალური ელემენტების მათემატიკური აღწერა

### 9.1. დისკრეტული სიგნალების მათემატიკური აღწერა. ცხრაური ფუნქცია

დროში დისკრეტული ფუნქციები წარმოადგენენ იმპულსების თანამიმდევრობას, რომლებიც ჩნდება განსაზღვრულ დისკრეტულ ერთმანეთისგან თანაბრად დაშორებულ დროის მომენტში. აქ განვიხილავთ დისკრეტულ სიგნალებს, რომლებიც წარმოიქმნება იმპულსების ამპლიტუდური მოდულაციის შედეგად. იმპულსის სიმაღლე პროპორციულია დასაკვანტი უწყვეტი სიგნალის მიმდინარე მნიშვნელობის, ხოლო დროის  $T$  ინტერვალში იმპულსებს შორის ერთნაირებია. იმპულსების სიგანე მუდმივია და იმდენად მცირეა დაკვანტვის  $T$  პერიოდთან შედარებით, რომ მას თვლიან ნულის ტოლად. ასეთი დისკრეტული სიგნალები აღიწერება ცხრაური ფუნქციების დახმარებით, რომელთა მნიშვნელობები განსაზღვრულია მხოლოდ დროის დისკრეტულ მომენტებში  $t = n T$ , სადაც  $n$  - მთელი რიცხვია,  $T$  - დაქვანტვის პერიოდი. დროში უწყვეტი  $f_1(T)$  ფუნქციის შეცვლის ოპერაცია ცხრაური ფუნქციის  $f(nT)$  ნაჩვენებია ნახაზ 9.1 - ზე.



- საწყისი უწყვეტი ფუნქციის დისკრეტები როდესაც  $f = nT$

ნახ. 9-1. უწყვეტი  $f_1(T)$  და ცხრაური  $f(nT)$  ფუნქცია.

მათემატიკურად ეს ოპერაცია ჩაიწერება ასე:

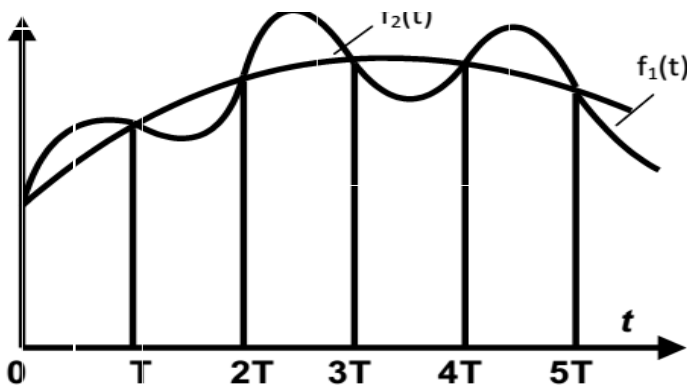
$$f(nT) = \begin{cases} f_1(t)|_{t=nT} & \text{npu } t = nT, \\ 0 & \text{npu } nT < t < T(n+1), \end{cases}$$

$$n = 0, 1, 2, \dots$$

ზოგჯერ სიმოკლისათვის ცხრაურულ ფუნქციას ჩაწერენ  $t(n)$  -ის სახით. გულისხმობენ, რომ  $T$  დროის ინტერვალის ხანგრძლივობა ცნობილია. ამიტომ, შინაარსობრივად  $f(nT)$  და  $f(n)$  - ერთი და იგივეა, ხოლო  $n$  წარმოადგენს დროის დისკრეტული მომენტის ნომერს.

არ არის აუცილებელი, რომ ცხრაურული ფუნქციის ფორმირება მოხდეს უწყვეტი ფუნქციიდან. ცხრაურული ფუნქციის სახით შეიძლება წარმოდგენილი იქნას ნებისმიერი რიცხვითი თანამიმდევრობა, რომელიმე სიდიდის განსაზღვრული დისკრეტულ თანაბრად დაშორებულ დროის მომენტებში.

უკუ ამოცანა ანუ ფორმირება უწყვეტი ფუნქციის ცხრაურულიდან, არ შეიძლება გადაწყვეტილი იქნას ცალსახად (ნახ.9.2.). ეს განპირობებულია იმით, რომ უწყვეტი ფუნქციის უსასრულო რაოდენობას შეუძლია მიიღოს მნიშვნელობები, რომლებიც ტოლია ცხრაურული ფუნქციის მნიშვნელობების:



ნახ. 9.2. უწყვეტი ფუნქციის აღდგენის ამოცანის გადაწყვეტა ცხრაურული ფუნქციის საფუძველზე.

ნახ. 9.2.-დან ჩანს, რომ სხვადასხვა უწყვეტ ფუნქციებს  $f_1(t)$  და  $f_2(t)$  დროის  $t = nT$  მომენტებში აქვთ ერთნაირი მნიშვნელობები და ეს მნიშვნელობები ემთხვევა ცხრაურული  $t(nT)$  ფუნქციის მნიშვნელობებს. უწყვეტი ფუნქციები ემთხვევა მოცემულ დისკრეტულ მნიშვნელობებს და მათ ეწოდებათ ცხრაურული ფუნქციის მომვლელები. მათ შორის გამოყოფენ ე. წ. ძირითად მომვლელებს. ის თავის მხრივ წარმოადგენს უწყვეტ ფუნქციას, რომელიც აკმაყოფილებს სამ ძირითად მოთხოვნას: იგი შეიძლება მიღებული იქნას როგორც დიფერენციალური განტოლების ამოხსნის შედეგი; განტოლების ხარისხი უნდა იყოს ყველაზე ნაკლები ყველა სხვა შესაძლო ვარიანტებს

შორის; პერიოდული ცხრაურული ფუნქციებისათვის უნდა სრულდებოდეს მოთხოვნა ჰარმონიების მინიმალური სიხშირის მიმართ. მაგალითად, ცხრაურული ფუნქცია:

$$f(nT) = e^{-\alpha nT}$$

სადაც  $\alpha$  - კონსტანტაა შეიძლება შეესაბამებოდეს ორი მომვლელი.

$$e^{-\alpha t} \quad \text{и} \quad e^{-\alpha t} (\cos \omega_o t + \beta \sin \omega_o t),$$

სადაც

$$\omega_o = \frac{2\pi k}{T},$$

$k$  - მთელი რიცხვია  $\beta$  - ნებისმიერი რიცხვი. ფუნქცია  $e^{-\alpha t}$  წარმოადგენს პირველი ხარისხის დიფერენციალურ განტოლების ამონახსნს, მეორე ფუნქცია შეესაბამება მეორე ხარისხის დიფერენციალურ განტოლებას. ამიტომ ფუნქცია  $e^{-\alpha t}$  ძირითადი მომვლელია.

## 9.2. სასრული სხვაობები და სასრული ჯამები

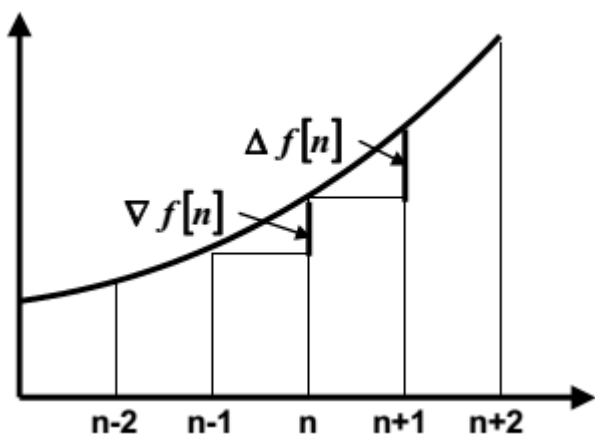
### 9.2.1. სასრული სხვაობები

ცხრაურული  $f(n)$  ფუნქციისათვის უწყვეტი ფუნქციის პირველი წარმოებულის ანალოგს წარმოადგენს პირველი სხვაობა. განასხვავებენ პირველ პირდაპირ სხვაობას

$$\Delta f(n) = f(n+1) - f(n)$$

და პირველ უკუ სხვაობას (ნახ. 9.3)

$$\nabla f(n) = f(n) - f(n-1)$$



ნახ. 9.3 პირველი პირდაპირი და პირველი უკუ სხვაობები

მაგალითი 1. განვიხილოთ წრფივი ცხრაურული ფუნქცია

$$f(n) = 2n + 1$$

და განვსაზღვროთ პირველი სხვაობები

$$\Delta f(n) = 2(n+1) + 1 - 2n - 1 = 2,$$

$$\nabla f(n) = 2n + 1 - 2(n-1) - 1 = 2.$$

ნათლად ჩანს, რომ წრფივი ცხრაურული ფუნქციის შემთხვევაში პირველი პირდაპირი და პირველი უკუ სხვაობების მნიშვნელობები ერთმანეთს ემთხვევა.

მაგალითი 2. განვსაზღვროთ პირველი სხვაობები არაწრფივი ცხრაურული ფუნქციისათვის

$$f(n) = n^2.$$

$$\Delta f(n) = (n+1)^2 - n^2 = 2n + 1,$$

$$\nabla f(n) = n^2 - (n-1)^2 = 2n - 1.$$

მიღებული გამოსახულებები გვიჩვენებენ, რომ არაწრფივი ფუნქციის შემთხვევაში მნიშვნელობები პირველი პირდაპირი და პირველი უკუსხვაობებისა განსხვავდება და დამოკიდებულია ტაქტურ მომენტზე.

უნდა აღინიშნოს, რომ პირველი სხვაობების გამოთვლა წარმოადგენს წრფივ ოპერაციას. უწყვეტი ფუნქციის მეორე წარმოებულის ანალოგს, ცხრაურული ფუნქციისათვის კი მეორე სხვაობებს:

მეორე პირდაპირი სხვაობა:

$$\Delta^2 f(n) = \Delta f(n+1) - \Delta f(n)$$

მეორე უკუსხვაობა

$$\nabla^2 f(n) = \nabla f(n) - \nabla f(n).$$

უნდა აღინიშნოს, რომ ეს სხვაობები დროის სხვადასხვა ტაქტურ მომენტში შეიძლება გამოსული იყოს საწყისი ცხრაურული ფუნქციის საწყისი მნიშვნელობების მეშვეობით :

$$\Delta^2 f(n) = f(n+2) - 2f(n+1) + f(n),$$

$$\nabla^2 f(n) = f(n) - 2f(n-1) + f(n-2).$$

შეიძლება აგრეთვე განისაზღვროს უდიდესი პირდაპირი და უკუსხვაობები. მაგალითად  $K$  - ური სხვაობებისათვის შეიძლება გამოვიყენოთ რეკურენტული თანაფარდობა:

$$\Delta^k f(n) = \Delta^{k-1} f(n-1) - \Delta^{k-1} f(n),$$

$$\nabla^k f(n) = \nabla^{k-1} f(n) - \nabla^{k-1} f(n-1).$$

ისე როგორც მეორე სხვაობა, უმაღლესი (უდიდესი) სხვაობები შეიძლება გამოსახული იქნენ ცხრაურული ფუნქციის მნიშვნელობების მეშვეობით დროის დისკრეტულ მომენტებში.

## 9. 2. 2. სასრული ჯამები

უწყვეტი ფუნქციის ცხრაურული ფუნქციისათვის ინტეგრალის ანალოგებს ზღვრებში 0-დან  $t = nT$  -მდე წარმოადგენს სასრული ჯამი. ასხვავებენ სრულ ჯამს:

$$F_o(n) = \sum_{m=0}^n f(m) = \sum_{v=0}^n f(n-v)$$

და არასრულ ჯამს:

$$F(n) = \sum_{m=0}^{n-1} f(m) = \sum_{v=1}^n f(n-v).$$

განსხვავება პირველ ფორმულასა და მეორე ფორმულას შორის ის არის, რომ მნიშვნელობა  $f(n)$  დროის  $t$  მომენტში  $t = nT$  იღებს მონაწილეობას პირველის შედეგის ფორმირებაში მეორე კი არა.  $f(n)$  ცხრაურული ფუნქციისათვის ჯამები  $F_o(n)$  და  $F(n)$  წარმოადგენს ანალოგებს პირველადის მსგავს უწყვეტი ფუნქციებისას.

მაგალითი. განვსაზღვროთ სასრული მნიშვნელობა ცხრაურული ფუნქციისათვის  $f(n) = n$ . ამისათვის გამოვიყენოთ ფორმულა, რომელიც გამოიყენება არითმეტიკური პროგრესის წევრების ჯამის გამოსაანგარიშებლად:

$$F(n) = \sum_{m=0}^{n-1} m = \frac{(n-1)+0}{2} \cdot n = \frac{n(n-1)}{2},$$

$$F_o(n) = \sum_{m=0}^n m = \frac{n+0}{2} \cdot (n+1) = \frac{n(n+1)}{2}.$$

### 9.3 სხვაობითი განტოლებები

იმპულსური სისტემის ქცევები აღიწერება სხვაობითი განტოლებების მეშვეობით - ფარდობით, რომელიც აკავშირებს ცხრაურულ ფუნქციას  $x(n)$  და მის სასრულ სხვაობებს  $\Delta x(n), \Delta^2 x(n), \dots, \Delta^k x(n)$  ასეთ სხვაობით ტოლობას აქვს  $K$ -ური ხარისხი და ჩაიწერება შემდეგი სახით:

$$b_0 \Delta^k x(n) + b_1 \Delta^{k-1} x(n) + \dots + b_k \Delta x(n) = f(n).$$

ეს ტოლობა წრფივია და არაერთგვაროვანია, რადგანაც პირველ ნაწილში განთავსებულია მოცემული ცხრაურული ფუნქცია  $f(n)$ . სიდიდე  $x(n)$  - საპოვნო ცხრაურული ფუნქცია, ხოლო სიდიდეები  $b_0, b_1, \dots, b_k$ , - სხვაობითი ტოლობის კოეფიციენტებია.

ძნელი არ არის შევნიშნოთ, სხვაობითი ტოლობის განხილული ჩაწერის ფორმა გარკვეული აზრით ანალოგიურია იმ დიფერენციალური ტოლობის, რომელიც აღწერს უწყვეტ პროცესს.

განვიხილოთ სხვაობითი ტოლობის შედგენის პროცედურა, მაგალითზე ინტეგრირების ოპერაციის:

$$x(t) = \int_0^t g(\tau) d\tau,$$

ან 
$$x(n+1) + a_1 x(n) = b_1 g(n),$$

განვსაზღვროთ ფუნქცია  $X$  არგუმენტისათვის  $(n+1)T$ :

$$x[(n+1)T] = \sum_{v=0}^n T g(vT).$$

ვიპოვოთ პირველი სხვაობა:

$$\Delta x(nT) = x[(n+1)T] - x(nT) = T \cdot g(nT).$$

შედეგად მივიღებთ სხვაობით ტოლობას:



$$\Delta x(nT) = T \cdot g(nT).$$

თუ უგულვებელვყოფთ  $T$  - ს მივიღებთ ამ ტოლობის უფრო ლაკონიურ ჩანაწერს:

$$\frac{1}{T} \Delta x(n) = g(n).$$

ამგვარად, ფორმირებული ტოლობა თავის მხრივ წარმოადგენს წრფივ პირველი ხარისხის სხვაობით ტოლობას.

სხვაობითი ტოლობების ჩაწერის უფრო გავრცელებულ ფორმას წარმოადგენს ის ვარიანტი, როცა სხვაობები ჩანაცვლებულია შესაბამისი გამოსახულებებით, რომლებიც შეიცავენ მხოლოდ ცხრაურული ფუნქციების მნიშვნელობებს დროის სხვადასხვა ტაქტურ მომენტში. წრფივ სხვაობით  $m$  ხარისხის ტოლობას ექნება შემდეგი სახე:

$$x(n) + a_1 x(n-1) + \dots + a_m x(n-m) = b_0 g(n) + b_1 g(n-1) + \dots + b_m g(n-m). (\dots)$$

უნდა აღინიშნოს, სხვაობითი ტოლობის მისაღებად საკმარისია ნებისმიერი დისკრეტული ფუნქცია, რომელიც დამოკიდებულია სხვა დისკრეტულ ფუნქციაზე, წარმოვადგინოთ რეკურენტული ფორმით.

წინა მაგალითში შუალედური შედეგის სახით მივიღეთ ტოლობა:

$$x[(n+1)T] - x(nT) = T \cdot g(nT)$$

ან

$$x(n+1) + a_1 x(n) = b_1 g(n),$$

სადაც ტოლობის კოეფიციენტებია  $a_1 = -1$ ,  $b_1 = T$  ;

ეს ტოლობა თავის მხრივ წარმოადგენს სხვაობით ტოლობას და ამავე დროს არის რეკურენტული ფარდობაც.

ამიტომ თუ შევამცირებთ ფუნქციის არგუმენტს 1-ით, მივიღებთ სხვაობით ტოლობას, რომელიც აღწერს იმავე პროცესს.

$$x(n) + a_1x(n-1) = b_1g(n-1)$$

#### 9.4. სხვაობითი ტოლობების ამოხსნა

განვიხილოთ  $m$  ხარისხის სხვაობითი ტოლობა:

$$\begin{aligned} x(n) + a_1x(n-1) + a_2x(n-2) + \dots + a_mx(n-m) = \\ = b_0g(n) + b_1g(n-1) + \dots + b_mg(n-m), \end{aligned}$$

სადაც  $x(n)$  - ცხრაურული ფუნქცია, რომელიც აღწერს იმპულსური სისტემის რეაქციას, ხოლო  $g(n)$  - ცხრაურული ფუნქცია, რომელიც აღწერს შემავალ ზემოქმედებას. ამ ტოლობის ამოხსნა შეიძლება მიღებული იქნას რამდენიმე ხერხით.

პირველი ხერხი განკუთვნილია სხვაობითი ტოლობის ამოხსნის რიცხობრივი შედეგის მისაღებად. სხვაობითი ტოლობები წარმოადგენენ რეკურენტულ ფარდობებს. ამიტომ შეიძლება ადვილად განვსაზღვროთ გამომავალი  $x(n)$  ცვლადის მიმდინარე მნიშვნელობები დროის  $t = T$  ტაქტურ მომენტებში  $g(n)$ . შემავალი ზემოქმედების მოცემული აქტუალური მნიშვნელობების დროს, რომელიც წინ უსწრებს საძებნი ფუნქციის სხვა მნიშვნელობებს  $x(n-1), x(n-2), \dots$  და შემავალ ზემოქმედებებს  $g(n-1), g(n-2), \dots$  ნამდვილად, უშუალოდ (9-1) ტოლობიდან მივიღებთ:

$$\begin{aligned} x(n) = b_0g(n) + b_1g(n-1) + \dots + b_mg(n-m) - \\ - a_1x(n-1) - a_2x(n-2) - \dots - a_mx(n-m). \end{aligned}$$

აქ  $2m$  მნიშვნელობები სიდიდეების  $x(n-1), x(n-2), \dots, x(n-m)$  და  $g(n-1), \dots, g(n-m)$  წარმოადგენენ საწყის მნიშვნელობებს, რომლებიც აუცილებელია ტოლობის ამოსახსნელად.

თუ გვინდა, რომ განვსაზღვროთ გამომავალი ცვლადის მნიშვნელობა შემდეგი დროის ტაქტურ მომენტში იმავე (9-1) ტოლობაზე დაყრდნობით უნდა მოვახდინოთ საწყისი მნიშვნელობების გადანაწილება, რომლის ალგორითმი შესაძლებელია გამოვსახოთ ცვლადების მიკუთვნების შემდეგი ოპერატორების დახმარებით, მიკუთვნების  $:=$ , ნიშნის მარცხნივ მდგომების მეშვეობით, რომლებსაც მიეკუთვნება მარჯვნივ მდგომი ცვლადების მნიშვნელობები:

$$\begin{aligned} x(n-m) &:= x(n-m+1), \\ &\vdots \\ x(n-2) &:= x(n-1), \\ x(n-1) &:= x(n), \\ g(n-m) &:= g(n-m+1), \\ &\vdots \\ g(n-1) &:= g(n). \end{aligned}$$

ამავე დროს სიდიდეების  $x(n-m)$  და  $g(n-m)$ -ის უწინდელი მნიშვნელობები იკარგება და შემდეგ გამოთვლებში არ გაითვალისწინება. ამრიგად, მიღებული ახალი საწყისი მნიშვნელობები წარმოგვიდგება (9-2) ტოლობაში და გვადლევენ საშუალებას განვახორციელოთ გათვლები  $x(n)$  ფუნქციის მორიგი მიმდინარე მნიშვნელობები.

თუ ვისარგებლებთ იმავე სხვაობით ტოლობით და ზემოთ მოყვანილი მეთოდით გადავანაწილებთ საწყის მნიშვნელობებს, შეიძლება გამოვთვალოთ გამომავალი  $x(n)$  ცვლადის მნიშვნელობები დროის ნებისმიერი ტაქტის დროს.

განხილული მეთოდის უპირატესობა მდგომარეობს რიცხვითი ამონახსნის სიმარტივეში. აქ მოსახერხებელია კომპიუტერის გამოყენება. შესაძლებელია კალკულატორით გამოთვლაც. ეს განასხვავებს სხვაობით ტოლობებს მათი უწყვეტი ანალოგისაგან - დიფერენციალური ტოლობებისაგან. პირველი მეთოდის უარყოფით მხარეს წარმოადგენს გადაწყვეტის საერთო სახის არ არსებობა. მიღებულ შედეგს აქვს კერძო ხასიათი და ეკუთვნის მხოლოდ კონკრეტულ ტოლობას კოეფიციენტის მოცემული მნიშვნელობებით, კონკრეტული ცხრაურული ფუნქციისათვის, რომელიც აღწერს შემავალ ზემოქმედებას.

მეორე მეთოდი გვაძლევს საშუალებას, მივიღოთ საერთო ამონახსენი სხვაობითი ტოლობის. არაერთგვაროვანი ტოლობა (მარჯვენა ნაწილიდან):

$$x(n) + a_1x(n-1) + \dots = f(n)$$

საერთო გადაწყვეტა განისაზღვრება ფორმულით:

$$x(n) = x_h(n) + x_p(n),$$

სადაც  $x_h(n)$  - საერთო ამონახსენია შემდეგი სახის ერთგვაროვანი სხვაობითი ტოლობისა:

$$x(n) + a_1x(n-1) + a_2x(n-2) + \dots + a_mx(n-m) = 0;$$

$x_h(n)$  - კერძო ამონახსენია არაერთგვაროვანი სხვაობითი ტოლობისა.

ერთგვაროვანი ტოლობის საერთო ამონახსენის საპოვნელად უნდა ვივარაუდოთ, რომ  $x(i) = \lambda^i$ , სადაც  $i$  წარმოადგენს დროის ტაქტური მომენტის ნომერს;  $\lambda = e^{aT}$ ,  $a$  - ჯერჯერობით უცნობი კონსტანტაა. თუ ჩავსვამთ ამ გამოსახულებას ერთგვაროვან ტოლობაში, მივიღებთ:

$$\lambda^n + a_1\lambda^{n-1} + a_2\lambda^{n-2} + \dots + a_m\lambda^{n-m} = 0.$$

გამოვიტანოთ საერთო მამრავლი  $\lambda^{n-m} \neq 0$ , მაშინ

$$\lambda^{n-m}(\lambda^m + a_1\lambda^{m-1} + a_2\lambda^{m-2} + \dots + a_m\lambda^0) = 0.$$

შევკვეცოთ  $\lambda^{n-m} \neq 0$  მივიღებთ მახასიათებელ ტოლობას:

$$\lambda^m + a_1\lambda^{m-1} + a_2\lambda^{m-2} + \dots + a_m = 0,$$

რომელსაც აქვს  $m$  რაოდენობის ფესვები  $\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_m$ . თუ ფესვები არაჯერადია, მაშინ საერთო ამონახსენი ერთგვაროვანი ტოლობისა, განისაზღვრება ფორმულით:

$$x(n) = \sum_{i=1}^m c_i \lambda_i^n, \tag{9-3}$$

სადაც  $c_1, c_2, \dots, c_m$  - კონსტანტებია, რომლებიც ექვემდებარება განსაზღვრას. მათი მნიშვნელობები შეიძლება იყოს ნამდვილი ან კომპლექსური. ფორმულა (9-3) ჩვეულებრივ გამოიყენება, იმ შემთხვევაში მახასიათებელი განტოლების ფესვები ნამდვილია კომპლექსური ფესვისათვის  $\lambda_j = \rho_j e^{i\varphi_j}$  მოიძებნება კომპლექსურად შეუღლებული ფესვები. შესაბამისი წევრი განტოლებაში (5-3) იცვლება გამოსახულებით:

$$\rho_j^n \cdot (c_{j1} \cdot \sin \varphi_j n + c_{j2} \cdot \cos \varphi_j n).$$

ამრიგად, მუდმივ კოეფიციენტიანი სხვაობითი ტოლობის ამონახსენი შეიძლება წარმოვადგინოთ ცხრაურული ფუნქციების წრფივი კომბინაციებით  $v^n, \rho^n \cos \varphi n, \rho^n \sin \varphi n$  არსებითი კოეფიციენტებით. აქ  $v$  - ნამდვილად ფესვია მახასიათებელი განტოლების. უნდა აღინიშნოს აგრეთვე, რომ  $r$  ნამდვილ ფესვებს  $\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_r$  აქვთ ერთნაირი მნიშვნელობები ანუ ფესვს  $\lambda_1$  აქვს ჯერადობა  $r$  მაშინ (5-3) განტოლებაში იქნება წევრი:

$$(c_1 + c_2 n + c_3 n^2 + \dots + c_r n^{r-1}) \lambda_1^n$$

საერთო ამონახსნის გადმოსახედიდან ერთგვაროვანი სხვაობითი ტოლობისა (9-3) გამომდინარეობს მნიშვნელოვანი დასკვნა იმის შესახებ. რომ მივიღოთ სისტემის თავისუფალი მიღევადი მოძრაობა, რომელიც აღიწერება სხვაობითი ტოლობით ანუ ამ სისტემის მდგრადობისათვის, მახასიათებელი განტოლების ფესვებს უნდა ჰქონდეთ აბსოლუტური მნიშვნელობა ერთზე ნაკლები:

$$|\lambda_i| < 1, \quad i = 1, 2, \dots, m$$

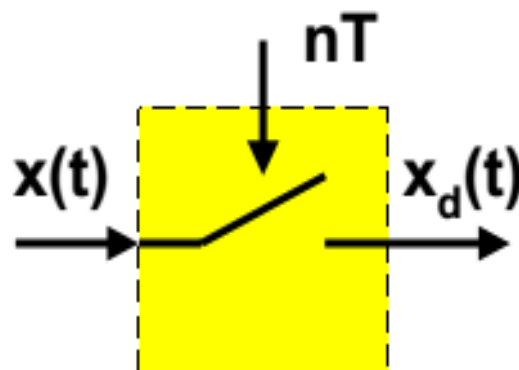
თუ მახასიათებელი ტოლობის ფესვებს გამოვსახავთ კომპლექსურ სიბრტყეზე. მაშინ ჩვენ შევძლებთ დავინახოთ, რომ სისტემის თავისუფალი მოძრაობის მიღვესათვის (ანუ მისი მდგრადობისათვის) აუცილებელია და საკმარისია, რომ ეს ფესვები მდებარეობდნენ წრის შიგნით, რომლის რადიუსიც ტოლია ერთის.

## 9.5 დაკვანტვის მათემატიკური მოდელი

კომპიუტერული მართვის სისტემების, რომლებიც განიხილება როგორც

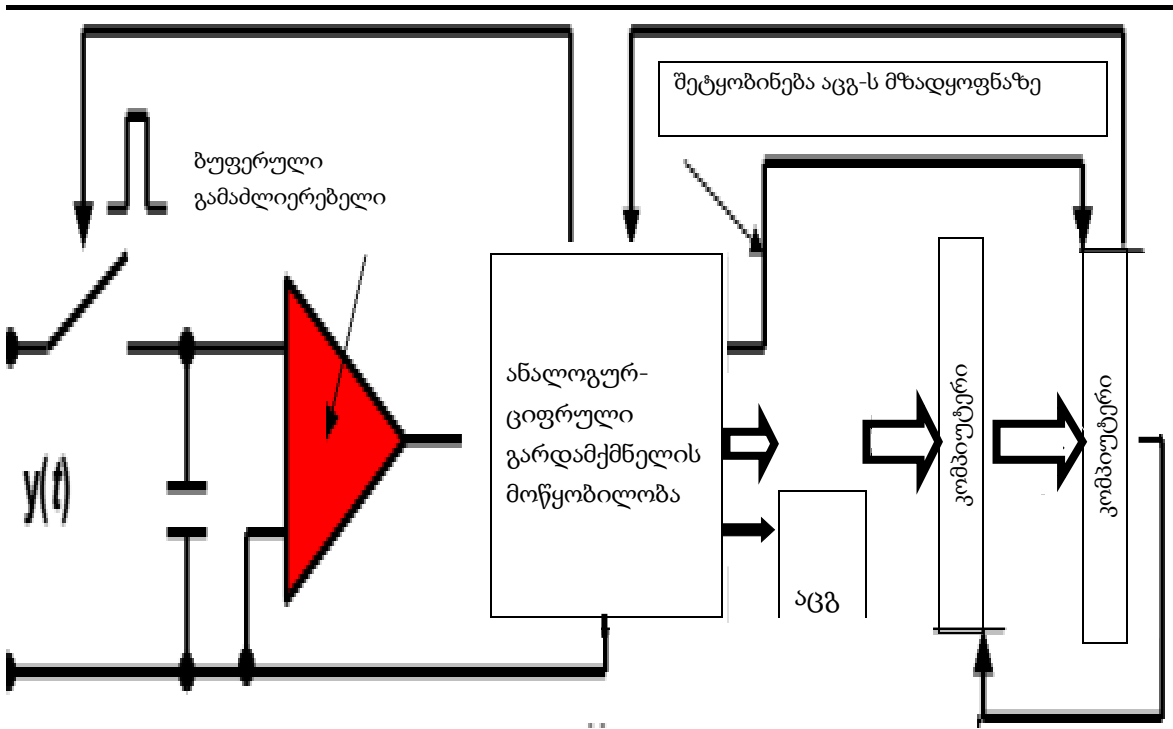
იმპულსური მართვის სისტემები (მამ), დამახასიათებელ თავისებურებას წარმოადგენს მათ შემადგენლობაში იმ ფუნქციური ელემენტების ყოფნა, რომლებიც ახორციელებენ დისკრეტიზაციას (დაკვანტვას) სიგნალებისა დროში. ამ ელემენტებს ეწოდებათ დამკვანტველები და ისინი ახორციელებენ ამპლიტუდური იმპულსურ მოდულაციას. ამავე დროს დამკვანტავის გამოსასვლელზე ფორმირებული სიგნალი - იმპულსებს  $x_d(t)$  აქვთ მნიშვნელობები უწყვეტი შემავალი სიგნალის  $x(t)$ , „ამოტაცებული“ დროის დისკრეტულ მომენტებში  $t = nT$ . კომპიუტერული მართვის სისტემის შემადგენლობაში დამკვანტავის ტიპური წარმომადგენელია აცგ. დისკრეტიზაცია დროის მიხედვით მიიღწევა.

აცგ - ს შემადგენლობაში შემავალი გასაღების ხანმოკლე პერიოდული ჩაკეტვის შედეგად და ანალოგური სიგნალის მიმდინარე მნიშვნელობის დამახსოვრებით, რომელიც შემდგომ ექვემდებარება ანალოგურ - ციფრულ გარდასახვას. ეს პროცესი ჩვენ შეგვიძლია განვიხილოთ როგორც თავისებური გამომავალი იმპულსის ფორმირება. გრაფიკული აღნიშვნა ასეთი დამკვანტავის წარმოდგენილია ნახ. 5-4-ზე.



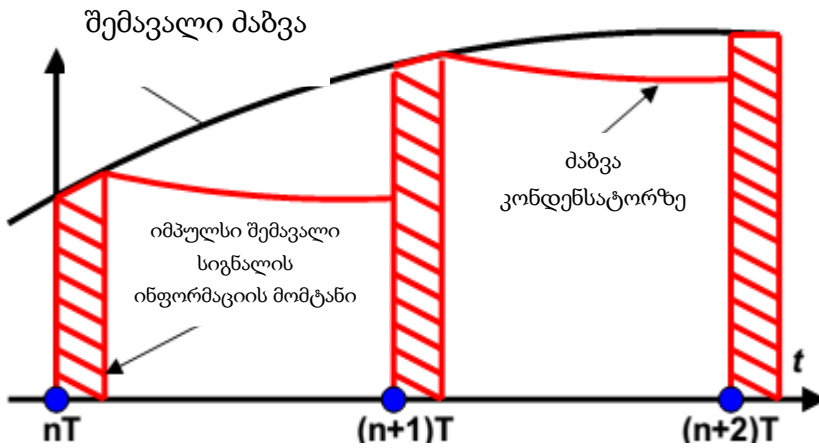
ნახ. 9. 4. დამკვანტავის გრაფიკული აღნიშვნა

გავიხილოთ ფუნქციონალური სქემა (ნახ. 5-5) და მუშაობის თავისებურებები ეცგ - სი, რათა გავერკვეთ დამკვანტავის მუშაობაში. კომპიუტერში შემავალი რიცხვის კოდი, რომელსაც მოაქვს ინფორმაცია შემავალ სიგნალზე, ფორმირდება მთელი რიგი მიმდევრობითი მოქმედებებით.



ნახ. 9. 5. ანალოგურ-ციფრული გარდამქმნელის ფუნქციური სქემა

ინიციატორის როლს ასრულებს მმართველი კომპიუტერი, რომელიც ახორციელებს მართვის პროგრამას. იგი იძლევა აცგ - ს ჩართვის ბრძანებას. ამ ბრძანების მიღებისას აცგ მცირე ხნით კეტავს ელექტრონულ გასაღებს და ახდენს ანალოგური შემავალი სიგნალის მიმდინარე მნიშვნელობის დამახსოვრებას. ეს ხდება კონდენსატორის დამუხტვის შედეგად, რომელზეც ძაბვა პრაქტიკულად არჩევს შემავალი ძაბვის დონეს იმ მოკლე დროის შუალედში, რომელშიც ჩაკეტილია ელექტრონული გასაღები აცგ - შესასვლელზე. კონდენსატორის დამუხტვის პროცესი აცგ - ს ჩაკეტილი გასაღებისას შეიძლება განვიხილოთ როგორც გამომავალი იმპულსის წარმოქმნა დამკვანტავში (ნახ. 9-6).



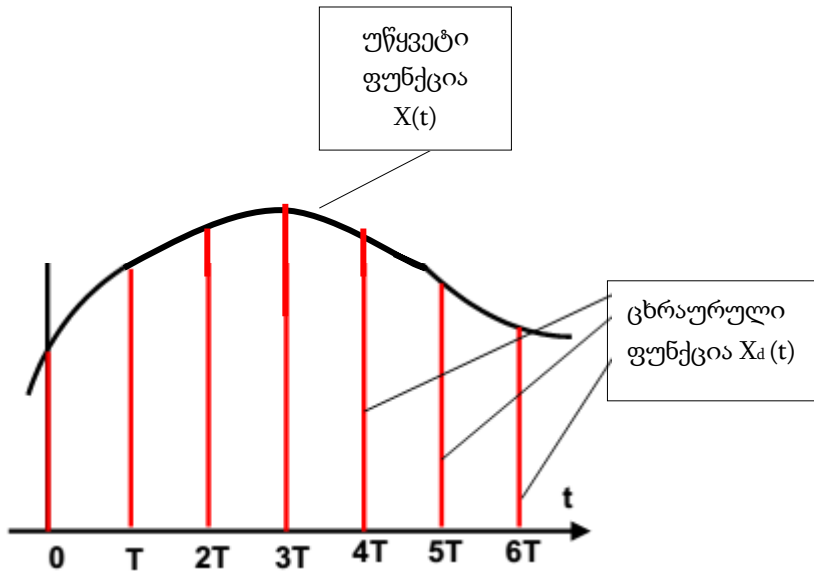
ნახ. 9. 6. იმპულსების ფორმირება ანალოგური შემავალი სიგნალის დამახსოვრების პროცესში

ბუფერულ გამამლიერებელს აქვს დიდი შემავალი წინაღობა, ამიტომ გასადების გახსნის შემდგომ კონდენსატორის მუხტი პრაქტიკულად არ იცვლება. ანალოგური სიგნალის დამახსოვრების კვალდაკვალ იწყება ანალოგურ - ციფრული გარდასახვის პროცესი, რომელიც დასრულდება მონაცემების ჩაწერით აცგ-ს რეგისტრში და კომპიუტერში ინფორმაციის მიტანით აცგ-ს მზადყოფნის შესახებ ციფრული მონაცემების გადაცემისა კომპიუტერში. აცგ - ს შემდეგი გაშვებისას დამახსოვრებული მნიშვნელობა ანალოგური სიგნალისა იცვლება ახალი მნიშვნელობით. ამ ინფორმაციის მიტანის მიღების შემდეგ კომპიუტერი ახორციელებს ინფორმაციის შეტანას აცგ-დან თავისი შეტანის პორტის მეშვეობით იყენებს მათ მართვის სიგნალის ფორმირებისათვის.

უნდა აღინიშნოს, რომ იმპულსებს სხვადასხვა რეალური დამკვანტავების გამოსასვლელელებზე შეიძლება ჰქონდეთ საკმაოდ რთული ფორმა და საბოლოო ხანგრძლივობა  $t$ . უმრავლეს შემთხვევებში იმპულსების ხანგრძლივობა მნიშვნელოვნად მცირეა დისკრეტიზაციის პერიოდზე ანუ  $\tau \ll T$ . იმპულსური სისტემების თვისებების ანალიზი დამკვანტავის გამოსასვლელზე (დაწვრილებით იმპულსების ფორმის და ხანგრძლივობის გათვლა) ძალზე რთულია და გამწვანებული რაც ხშირად არც არის აუცილებელი. ამიტომ იმპულსური სისტემების თეორია დაფუძნებულია იდეალური დამკვანტავის მონაცემებზე.

იდეალური დამკვანტავში იგულისხმება  $x(t)$  შემავალი უწყვეტი სიგნალის ისეთი გარდაქმნა დროში დისკრეტულ  $x_d(t)$  - სიგნალად, რომლის დროსაც სიგნალი  $x(t)$  - დან ამოირჩვა და ჩაირთვება  $x_d(t)$  - შემადგენლობაში  $x(t)$  მხოლოდ დროის ტაქტური მომენტის  $nT$  - ს მნიშვნელობები





ნახ. 9.7. დროში იდეალური დაქვანტვის პროცესი

ამ დროის იმპულსის ხანგრძლივობა დამქვანტვის გამოსასვლელზე ითვლება ნულის ტოლად  $\tau = 0$ .

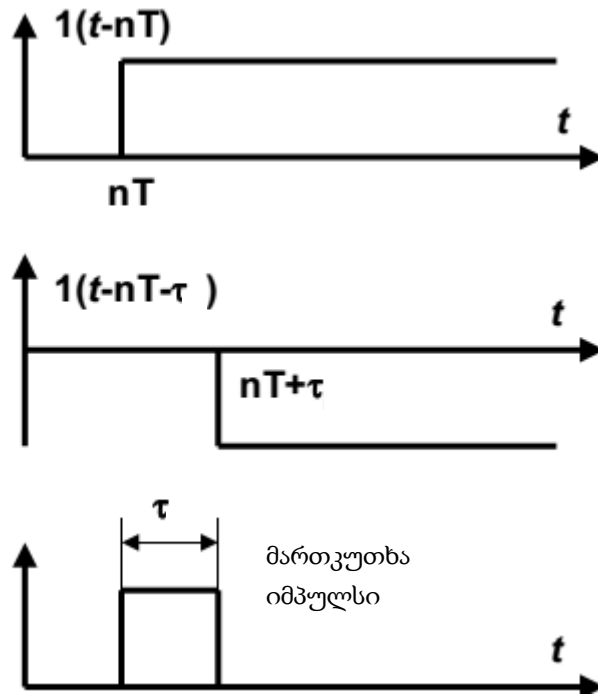
მათემატიკურად ამპლიტუდური იმპულსური მოდულაცია შეიძლება აღწერილი იქნება, როგორც სამოდულირებელი შემავალი  $x(t)$  ფუნქციის წარმოებული მამოდულირებელი  $m(t)$  ფუნქციის, რომელიც შეესაბამება გადამტან იმპულსურ სიგნალს:

$$x_d(t) = x(t) \cdot m(t)$$

რეალური სიგნალი  $m(t)$  არის თანამიმდევრობა მოკლე მართკუთხა იმპულსებისა ხანგრძლივობა  $\tau$  და სიმაღლით. ისინი ერთის ტოლია. იმპულსების მიმდევრობის პერიოდი ტოლის დაქვანტვის პერიოდისა  $T$  ამავე დროს  $\tau \ll T$ .

წარმოვიდგინოთ ნებისმიერო მართკუთხა იმპულსი, რომელიც ეკუთვნის

$m(t)$  და იგი წარმოიქმნება დროის  $t = nT$  (ნახ. 9.8), მომენტში, როგორც ორი სიგნალის შეკრების შედეგი, აღწერილს ერთეულოვანი საფეხუროვანი ფუნქციებით.



ნახ. 9.8

სადაც გადამტანი სიგნალი  $m(t)$  შეიძლება აღიწეროს ტოლობით

$$m(t) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} [1(t-nT) - 1(t-nT-\tau_u)],$$

სადაც  $1(t)$  - ერთეულოვანი საფეხუროვანი ფუნქციაა. ამიტომ დამკვანტველის გამომავალი სიგნალი  $X_d(t)$  შეესაბამება ტოლობას:

$$x_d(t) = x(t) \cdot \sum_{n=-\infty}^{\infty} [1(t-nT) - 1(t-nT-\tau_u)].$$

ანალიზის გამარტივებისათვის იმპულსური სისტემის თვისებებს განიხილავენ, როდესაც  $\tau \ll T$  ე.ი. იდეალიზებულ შემთხვევას, როდესაც დროის შუალედი  $\tau$  იმდენად მცირეა, რომ შეიძლება ჩვთვალოთ  $\tau \rightarrow 0$ .

შევასრულოთ გარდაქმნა:

$$m(t) = \tau_u \cdot \lim_{\tau_u \rightarrow 0} \sum_{n=-\infty}^{\infty} \frac{l(t-nT) - l(t-nT-\tau_u)}{\tau_u} = \tau_u \cdot \sum_{n=-\infty}^{\infty} \delta(t-nT),$$

სადაც  $\delta(t)$  - დელტა - ფუნქციაა დირაკის.

რეალური იმპულსი დროის მომენტში  $t = nT$  იცვლება  $\delta$  - ფუნქციით გამრავლებული მამასშტაბირებელ კოეფიციენტზე  $\tau$  - ზე, რომელიც უზრუნველყოფს ასეთი შეცვლის ეკვივალენტურობას. გავიხსენოთ რომ დირაკის დელტაფუნქციას აქვს შემდეგი თვისებები:

$$\delta(t) = \begin{cases} 0 & \text{როდესაც } t \neq 0, \\ \infty & \text{როდესაც } t = 0, \end{cases}$$

$$\int_{-\varepsilon}^{\varepsilon} \delta(t) dt = 1$$

აქედან გამომდინარეობს, რომ  $\delta$  - ფუნქციას აქვს უსასრულოდ დიდი „სიმაღლე“ მაგრამ ნულოვანი ხანგრძლივობა. მაგრამ ამავე დროს, ცხადია, რომ იდეალიზირებული იმპულსის ფართი ტოლია  $\tau$ , ანუ რეალური იმპულსის. ამიტომ რეალური იმპულსი დროის მომენტში  $t = nT$  შეიძლება აღვწეროთ  $\delta$  - იმპულსის გამოყენებით, ორი გამოსახულებით:

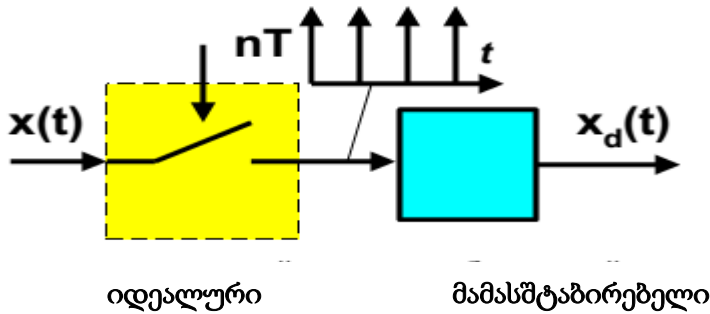
$$x_d(nT) = \tau_u \cdot x(nT) \cdot \delta(t-nT) = \tau_u \cdot x(t) \cdot \delta(t-nT)$$

ამრიგად, ვიღებთ დაკვანტვის მათემატიკურ მოდელს, რომელიც თავის გამოსასვლელზე ახდენს იდეალიზირებული იმპულსების ფორმირებას, ეკვივალენტურ რეალურად არსებული იმპულსებისა, შემდეგი სახით:

$$x_d(t) = x(t) \cdot \tau_u \sum_{n=-\infty}^{\infty} \delta(t-nT) = \tau_u \sum_{n=0}^{\infty} x(nT) \cdot \delta(t-nT) , \quad (5-4)$$

სადაც  $m(t)$  - ფუნქციაა, რომელიც განსაზღვრავს იმპულსურ თანამიმდევრობას.

ამრიგად,  $X_d(t)$  - არის შედეგი  $X(t)$  სიგნალით მოდულაციის, რომელსაც გადააქვს სიგნალი თანამიმდევრობით მასშტაბირებული  $\delta$  - იმპულსის სახით. ამიტომ ტოლობას (5.4) - ს უწოდებენ მათემატიკურ მოდელს ამპლიტუდური იმპულსური მოდულაციის. (5.4) ტოლობის სახე გვიჩვენებს, რომ რეალური დამკვანტავის შემადგენლობა შეიძლება ჩავთვალოთ ისეთი დამკვანტავი, რომელიც შეიცავს იდეალურ დამკვანტავს და ახდენს მიმდევრობით  $\delta$  იმპულსების ფორმირებას (რომელთა კოეფიციენტიც ტოლია 1-ის), და მამასშტაბირებელ ბლოკს კოეფიციენტით  $\tau$  (ნახ. 9.9.)



ნახ. 9.9. დამკვანტავი ბლოკი

ამ შემთხვევაში იდეალური დამკვანტავის მოდელი ხასიათდება ტოლობით

$$x_d(t) = \sum_{n=0}^{\infty} x(nT) \cdot \delta(t - nT)$$

ამიტომ ობიექტის გამოსასვლელზე წარმოიქმნება რეაქცია, რომელიც განსაზღვრული იქნება შემავალი იმპულსის ხანგრძლივობით.

შემდგომში, როდესაც განვიხილავთ დისკრეტული სიგნალების ფორმირების აღწერის პროცესს, იმპულსურ მამ-ში ძალზე მოხერხებულია იდეალური დამკვანტავის მოდელის გამოყენება. ამ დროს სიდიდე  $\tau$  მიზანშეწონილია მივაკუთვნოთ მამ - ის უწყვეტი მოდელის ნაწილს. იდეალური დამკვანტავის ცნების შემოტანა საშუალებას გვაძლევს, გამოვიყენოთ ლაპლასის გარდაქმნა იმპულსური მამ -ის გამოსაკვლევადა.

საჭიროა აღინიშნოს, არავითარი რეალური მოწყობილობას, რეალური დამკვანტავის ჩათვლით, არ შეუძლია შექმნას იმპულსები უსასრულოდ დიდი სიმაღლის. ამიტომ იდეალიზაციის შემოტანას მივყავართ იდეალურ დამკვანტავამდე, რომელიც თვისობრივად წარმოადგენს იდეალურ დამკვანტავს. რაც რასაკვირველია არის არარეალური ობიექტი. ამავე დროს თუ დამკვანტავის შემდეგ იმყოფება ობიექტი, მაგალითად ისეთი, რომელსაც აქვს უნარი შემავალი სიგნალის შენელების და გასაშუალების, მაგალითად, შემცველი აპერიოდული რგოლების, მაშინ მისი რეაქცია განისაზღვრება იმპულსის ფართით, განპირობებულს მისი სიმაღლით და ხანგრძლივობით. ფართით. აქვე უნდა აღინიშნოს, რომ რეალური მართვის ობიექტს,

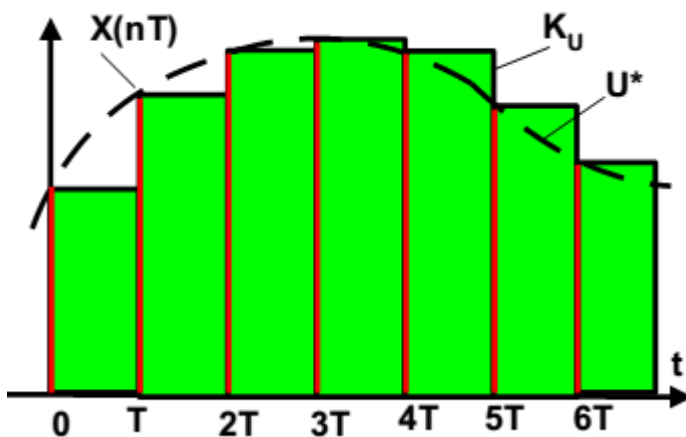
რომელიც შედის მექატრონული სისტემის შემადგენლოაქვთ ბაში, გასაშუალების უნარი. ამიტომ, ჩვენს მიერ მიღებული კრიტერიუმი რეალური იმპულსის ეკვივალენტურობის და წარმოსახულს უსასრულოდ მაღალი იმპულსით, რომლის ხანგრძლივობა ნულის ტოლია, მისაღებია დამკვანტავის მათემატიკური მოდელის ფორმირებისათვის, ხოლო მიღებული მოდელი დამკვანტავის, შეიძლება განხილული იქნას როგორც კორექტული და გამოსადეგი იმპულსური სისტემების ანალიზისა და სინთეზისათვის.

### 9.6. ფიქსატორის მათემატიკური მოდელი

ფიქსატორი თვისობრივად წარმოადგენს მოწყობილობას, რომელიც იმახსოვრებს შემავალი სიგნალის მყისიერ მნიშვნელობას მისი მოსვლის მომენტიდან და ინახავს უცვლელად დროის მომდევნო ტაქტურ მომენტამდე. ფიქსატორის თვისებები აქვს, მაგალითად, რეგისტრს, რომელიც განკუთვნილია იმ მონაცემების ჩასაწერად, რომელიც მიეწოდება ცაგ - ს მმართველი კომპიუტერიდან.

ამ მოცემულ კონკრეტულ შემთხვევაში კომპიუტერი ასრულებს რეალური დამკვანტავის როლს და დროის დისკრეტულ მომენტებში გასცემს იმპულსებს  $x_d(t) = x(nT)$  ხანგრძლივობით  $\tau$ , რომლებიც მნიშვნელოვნად ნაკლებია დროით დაკვანტვის პერიოდზე. ამ იმპულსების სიმაღლეების მნიშვნელობა დაიმახსოვრება ფიქსატორით (რეგისტრით) და ჩაინიშნება უცვლელად იმ დროის განმავლობაში, რომელიც ტოლია დისკრეტიზაციის პერიოდის  $T$ .

ამ დროს ფიქსატორის გამოსასვლელზე ხდება გენერირება მართკუთხა იმპულსების  $K_U$ , რომელთა სიმაღლეც ტოლია შემავალი იმპულსების სიმაღლის ანუ  $x(nT)$ , ხოლო ხანგრძლივობა - დისკრეტიზაციის პერიოდის  $T$  (ნახ. 9. 10). მათი ერთობლიობა წარმოქმნის საფეხურების მაგვარ შემავალ სიგნალს ცაგ - ის, რომელსაც თავის მხრივ მიყვავართ ცაგ - ის გამომავალი სიგნალის წარმოქმნამდე. პირველი მიახლოებით ეს სიგნალიც შეიძლება ჩაითვალოს საფეხურის მაგვარად, თუ არ გავითვალისწინებთ ცაგ - ის დინამიკას.



ნახ. 9. 10 ცაგ - ის საფეხურებრივი გამომავალი სიგნალის ფორმირება

ფიქსატორი ასრულებს ნულოვანი ხარისხის ექსტრაპოლატორის როლს და მისი დანიშნულებაა, აღადგინოს უწყვეტი სიგნალი  $U^*(t)$  დროში დისკრეტული შემავალი  $x(nT)$  სიგნალისაგან ნულოვანი ხარისხით მოახლოების გზით. იგულისხმება, რომ საძებნი სიგნალი  $U^*(t)$  არის ნაგულისხმები საფუძველი იმპულსური  $x_d(t)$  ზემოქმედების ფორმირებისათვის. აღდგენის პროცესს თან ახლავს ზოგიერთი ცდომილება, რომლებიც დამოკიდებულია დროით დაკვანტვის პერიოდზე უწყვეტი  $f(t)$  სიგნალის აღდგენის ყველაზე დიდი ცდომილება ნულოვანი ხარისხის ექსტრაპოლატორის გამოყენებისას გლუვი პირველი წარმოებულით, რომლის დისკრეტიზაციის შემდეგ დროით პერიოდით  $T$  შეიძლება განისაზღვროს ფორმულით

$$e = T \cdot \max_t |f'(t)|$$

სადაც  $f(t)$  პირველი წარმოებულია დროის მიხედვით  $f(t)$  ფუნქციისაგან.

ფორმულიდან ძალიან ნათლად ჩანს, რომ აღდგენა ხდება მით უფრო ზუსტად, რაც ნაკლებია  $T$  პერიოდის დაკვანტვის მნიშვნელობა დროში.

განვსაზღვროთ ნულოვანი ხარისხის ექსტრაპოლატორის გადამცემი ფუნქცია, ლაპლასის გარდაქმნის გამოყენებით. გავითვალისწინოთ, რომ ექსტრაპოლატორის შესასვლელზე მიეწოდება იმპულსების თანამიმდევრობა  $X_d(s)$

რეალური დამკვანტავის გამოსასვლელიდან, მაგალითად, კომპიუტერის გამოსასვლელიდან. იმპულსების ეს თანამიმდევრობა აღიწერება ტოლობით:

$$x_d(t) = \tau_u \sum_{n=0}^{\infty} x(nT) \cdot \delta(t - nT).$$

გარდავექმნათ ლაპლასის მიხედვით ჯამის თითოეული ელემენტი ისე, რომ ჩავთვალოთ საწყისი პირობები ნულის ტოლად და ვისარგებლოთ სუპერპოზიციის პრინციპით, მივიღებთ გამოსახულებას ლაპლასის მიხედვით.  $X_d(s)$ , ამ მიმდევრობით გამომავალი იმპულსებისათვის, რომელსაც ექნება შემდეგი სახე:

$$X_d(s) = \tau_u \sum_{n=-\infty}^{\infty} x(nT) \cdot e^{-snT}$$

$X_d(s)$  - ის ფორმირებისათვის სასარგებლო იქნება შემდეგი ფორმულები, რომლებიც გამოსახვენ დელტაფუნქციის მნიშვნელოვან ფუნქციებს ლაპლასის მიხედვით გარდაქმნისას

$$\begin{aligned} L\{\delta(t)\} &= 1, \\ L\{\delta(t - \tau)\} &= e^{-s\tau}, \\ L\{\delta(t - nT)\} &= e^{-snT} \end{aligned}$$

ფიქსატორის გამოსასვლელზე წარმოიქმნება საფეხუროვანი სიგნალი  $u_\phi(t)$ , რომელიც შეიძლება ჩაითვალოს, რომ შედგება მართკუთხა იმპულსებისაგან, რომელთა ხანგრძლივობაა  $T$ . თითოეული მართკუთხა იმპულსი შეიძლება წარმოვიდგინოთ ორი ერთეულოვანი საფეხუროვანი სხვადასხვა ნიშნიანი ფუნქციების შეკრებით დაძრულები დროში დროის შუალედით, ტოლი პერიოდის  $T$ . აღვნიშნოთ, რომ სიგნალი  $u_\phi(t)$  არ არის დამოკიდებული შემავალი  $t$  იმპულსების ხანგრძლივობაზე  $\tau$  და განისაზღვრება ფორმულით:

$$u_\phi(t) = \sum_{n=0}^{\infty} x(nT) \cdot \{1(t - nT) - 1(t - (n+1)T)\}$$

ამ ტოლობის ყველა კომპონენტი გარდაქმნათ ლაპლასის მიხედვით, თან დავუშვათ, რომ საწყისი პირობები არის ნულოვანი და შემდეგი ფორმულების გათვალისწინებით, რომლებიც სამართლიანია ერთეულოვანი საფეხუროვანი ფუნქციისათვის:

$$\begin{aligned} L\{1(t)\} &= \frac{1}{s}, \\ L\{1(t - nT)\} &= \frac{1}{s} e^{-snT}, \\ L\{1(t - (n+1)T)\} &= \frac{1}{s} e^{-sT(n+1)} = \frac{1}{s} e^{-snT} \cdot e^{-sT} \end{aligned}$$

ლაპლასის გარდაქმნის გამოყენებას  $u_\phi(t)$  სიგნალისათვის მივყავართ შემდეგ ტოლობამდე:

$$U_{\phi}(s) = L\left\{\sum_{n=0}^{\infty} x(nT) \cdot 1(t - nT)\right\} - L\left\{\sum_{n=0}^{\infty} x(nT) \cdot 1[t - (n+1)T]\right\} =$$

$$= \sum_{n=0}^{\infty} x(nT) e^{-snT} \cdot \frac{1}{s} (1 - e^{-sT})$$

დროში დისკრეტული შემავალი სიგნალისათვის თუ გავითვალისწინებთ ზემოთ მიღებულ გამოსახულებას ლაპლასის მიხედვით, მივიღებთ:

$$X_d(s) = \tau_u \sum_{n=0}^{\infty} x(nT) \cdot e^{-snT}$$

ლაპლასის მიხედვით მივიღებთ გამოსახულებას:

$$U_{\phi}(s) = \frac{1}{\tau_u} X_d(s) \cdot \frac{1}{s} (1 - e^{-sT})$$

აქედან მივიღებთ ფიქსატორის გადამცემ ფუნქციას, რომელიც წარმოადგენს ნულოვანი ხარისხის ექსტრაპოლატორს:

$$W_{\phi}(s) = \frac{U_{\phi}(s)}{X_d(s)} = \frac{1}{\tau_u \cdot s} \cdot (1 - e^{-sT}).$$

მიღებული გადაცემის ფუნქციის ანალიზი გვიჩვენებს, რომ დაბალ სიხშირეებზე ფიქსატორი (ნულოვანი ხარისხის ექსტრაპოლატორი) ამჟღავნებს თვისებებს, რომელიც მსგავსია აპერიოდული რგოლის:

$$\lim_{\omega \rightarrow 0} W_{\phi}(j\omega) = \frac{T/\tau_u}{1 + j\omega T}.$$

მისი დროის მუდმივა ტოლია დროში დაკვანტვის პერიოდისა. ამრიგად, ფიქსატორს გააჩნია უნარი გაასაშუალოს მის შესასვლელზე მიწოდებული სიგნალები.



## 9. 7. მაფორმირებელი ელემენტის მოდელი და იმპულსური სისტემის დაყვანილი უწყვეტი ნაწილი

ცნობილია, რომ კომპიუტერული მართვის სისტემაში არის რეალური დამკვანტავი და ფიქსატორი. როგორც ზემოთაა ნაჩვენები, დამკვანტავის მათემატიკური მოდელი შეიძლება წარმოვიდგინოთ ორი მიმდევრობით ჩართული ელემენტით: იდეალური დამკვანტავის მოდელით და მამასშტაბირებელი ბლოკის მოდელით. რეალური დამკვანტავის მამასშტაბირებელი ბლოკის და ფიქსატორის, რომელიც ასრულებს ნულოვანი რიგის ექსტრაპოლაციას როლს, აღწერების ფორმალური გაერთიანებისას წარმოიქმნება მაფორმირებელი ელემენტი. მის გადამცემ ფუნქციას აქვს სახე:

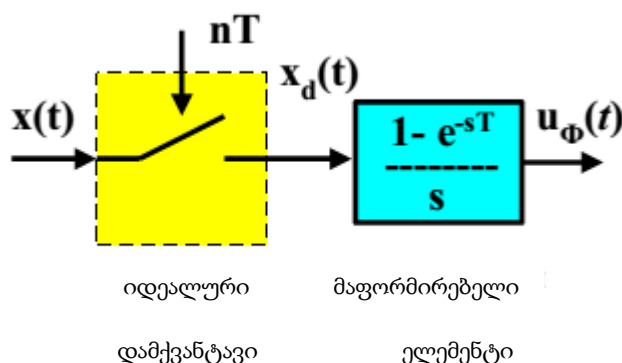
$$W_{\phi}(s) = \tau_u \cdot W_{\phi}(s) = \frac{1}{s} (1 - e^{-sT}).$$

ნახ. 5. 11. ჩანს, რომ რეალური წყვილი მოწყობილობების (რეალური დამკვანტავი და ფიქსატორი) თვისებები ეკვივალენტურია წყვილი იდეალიზებული ფუნქციური ელემენტის (იდეალური დამკვანტავი და მაფორმირებელი ელემენტი). იდეალური დამკვანტავის გამოსასვლელზე წარმოიქმნება იდეალიზებული დისკრეტული სიგნალი  $\delta$ - ფუნქციისაგან:

$$x_d(t) = \sum_{n=0}^{\infty} x(nT) \delta(t - nT),$$

ხოლო მაფორმირებელი ელემენტის გამოსასვლელზე წარმოიქმნება რეალური სიგნალი, აღწერილი ერთეულოვანი საფეხუროვანი ფუნქციით:

$$u_{\phi}(t) = \sum_{n=0}^{\infty} x(nT) \{ [t - nT] - [t - (n+1)T] \}.$$



9. 11 წყვილი იდეალიზებული ფუნქციური ელემენტების მოდელების სტრუქტურა, რომლებიც ეკვივალენტურია დამკვანტავის და ფიქსატორის.

მაფორმირებელი ელემენტის გადამცემი ფუნქციის სახე ადასტურებს იმა, რომ იდეალური დამკვანტავი თვისებები მაფორმირებელ ელემენტთან ერთად ანუ ე. ი. რეალური დამკვანტავისა ფიქსატორთან ერთად არ არიან დამოკიდებული რეალური იმპულსის ხანგრძლივობასთან  $\tau_u$  (როდესაც  $\tau_u \ll T$ ).

იმპულსური სისტემების თვისებების გამოკვლევისას მაფორმირებელი ელემენტის მოდელს აერთიანებენ ობიექტის მართვის უწყვეტ მოდელთან და იღებენ ამ სისტემის უწყვეტი დაყვანილი ნაწილის მოდელს. მისი გადამცემი ფუნქცია  $W_o(s)$  დაკავშირებულია მართვის ობიექტის გადამცემ ფუნქციებთან და აგრეთვე მართვის მაფორმირებელი ელემენტის  $W_\phi(s)$  ტოლობით:

$$W_H(s) = W_\phi(s) \cdot W_o(s).$$

უნდა აღინიშნოს, რომ მაფორმირებელ ელემენტს ისევე როგორც ფიქსატორს აქვთ უნარი სიგნალების გასაშუალების. ამრიგად, მისი გამომავალი სიგნალი პროპორციულია იმ იმპულსების ფართისა, რომლებიც მიეწოდება მის შესასვლელს მაგალითად, იმ იმპულსებისა, რომლებსაც წარმოშობს დამკვანტავი. ამიტომ, წყვილ რეალურ მოწყობილობებს (დამკვანტავი და ფიქსატორი) შესაბამისად უყენდება წყვილი არარეალური ელემენტი, მაგრამ მოხერხებული იმპულსური სისტემის იდეალიზებული ობიექტების გამოკვლევისათვის, რომლებიც წარმოადგენს თვისობრივად იდეალურ დამკვანტავს და მაფორმირებელ ელემენტს.

## თავი 10 ლაპლასის დისკრეტული გარდასახვის გამოყენება კომპიუტერული მართვის სისტემების აღსაწერად

### 10. 1. ლაპლასის დისკრეტული გარდაქმნა

დროის ცხრაურული ფუნქციებისათვის შეიძლება გამოყენებული იქნას ლაპლასის დისკრეტული გარდაქმნა. განვიხილოთ ნებისმიერი იდეალიზებული იმპულსი ( $\delta$  - იმპულსი) იდეალური დამკვანტავის გამოსასვლელზე

$$x_d(nT) = x(nT) \cdot \delta(t - nT)$$

გამოვიყენოთ მის მიმართ ლაპლასის გარდაქმნა

$$L\{x_d(nT)\} = \int_0^{\infty} x(nT) \cdot \delta(t - nT) e^{-st} dt$$

აქ  $S = \delta + j\omega$  ლაპლასის კომპლექსური ცვლადია.

$\delta$  - ფუნქციის მაფილტრირებელი თვისებების გამო მივიღებთ:

$$L\{x_d(nT)\} = x(nT)e^{-snT}$$

ახლა ნულოვანი საწყისი მნიშვნელობების დროს განვსაზღვროთ  $x_d(t)$ , ფუნქციის გამოსახულება ლაპლასის მიხედვით რომელიც წარმოადგენს იმპულსების თანამიმდევრობას იდეალური დამკვანტავის გამოსახულებზე:

$$L\{x_d(t)\} = \int_0^{\infty} \left[ \sum_{n=0}^{\infty} x(nT) \cdot \delta(t - nT) \right] e^{-st} dt = \sum_{n=0}^{\infty} \left[ \int_0^{\infty} x(nT) \cdot \delta(t - nT) e^{-st} dt \right]$$

აქ გათვალისწინებულია, რომ ინტეგრირების და აჯამვის პროცესი არის წრფივი. ამიტომ შეიძლება ისინი გადავადგილოთ, ე. ი. ჯერ ჯამის ყოველ ელემენტზე შევასრულოთ ლაპლასის გარდაქმნა, ხოლო შემდეგ ავჯამოთ მიღებული შედეგები. მაშინ მივიღებთ ტოლობას, რომელიც შეიცავს გამოსახულებას ლაპლასის მიხედვით  $X^*(s)$ -ს  $x_d(t)$  ფუნქციისას:

$$L\{x_d(t)\} = X^*(s) = \sum_{n=0}^{\infty} x(nT) e^{-snT}$$

რომლიდანაც გამომდინარეობს ლაპლასის პირდაპირი დისკრეტული გარდაქმნის ფორმულა ანუ  $D$  - გარდაქმნა

$$D\{x(nT)\} = \sum_{n=0}^{\infty} x(nT) e^{-snT} \quad (10-1)$$

უნდა აღინიშნოს, რომ ეს ფორმულა საკმარისად მარტივია და გვაძლევს იმის საშუალებას, რომ მარტივად ვიპოვოთ ცხრაურული ფუნქციის გამოსახულება, რომლებსაც ვიღებთ ლაპლასის დისკრეტული გარდაქმნის საშუალებით.

## 10.2. Z - გარდაქმნა

საინჟინრო პრაქტიკაში უფრო ხშირად გამოიყენება არა ფორმულა (10-1) არამედ სხვა ფორმა, რომელიც ატარებს Z - გარდასახვის სახეს. ამ დროს გამოიყენება ცვლადების შეცვლა მოყვანილი ტოლობის შესაბამისად:

$$z = e^{sT}$$

შედეგად ლაპლასის გარდაქმნა იღებს იმ სახეს, რომელსაც ეწოდება Z - გარდაქმნის ფორმულა:

$$Z\{x(nT)\} = X^*(z) = \sum_{n=0}^{\infty} x(nT)z^{-n} \quad (10 - 2)$$

საჭიროა ყურადღების მიქცევა იმაზე, რომ რამდენადაც  $s$  - კომპლექსური ცვლადია, ამიტომ  $Z$  - იც კომპლექსური ცვლადია. ამიტომ სამართლიანია შემდეგი ტოლობები:

$$s = \frac{1}{T} \ln z, \quad \operatorname{Re} z = e^{T\sigma} \cos \omega T, \quad \operatorname{Im} z = e^{T\sigma} \sin \omega T$$

მაგალითი 1. მოცემულია მესერული ერთეულოვან საფეხურიანი ფუნქცია:

$$x(nT) = 1(nT)$$

რომლისთვისაც უნდა ვიპოვოთ  $Z$  - გარდაქმნა. ამისათვის გამოვიყენოთ ფორმულა (6-2) და მივიღებთ უსასრულო გეომეტრიულ პროგრესიას:

$$X^*(z) = \sum_{n=0}^{\infty} 1(nT)z^{-n} = z^0 + z^{-1} + z^{-2} + \dots + z^{-n} + \dots$$

უნდა აღინიშნოს, რომ გეომეტრიული პროგრესიის  $n$  წევრების ჯამი ტოლია

$$S_n = \frac{a_1(1-q^n)}{1-q}$$

სადაც  $a_1$  - პროგრესიის პირველი წევრია,  $q$  - პროგრესიის მნიშვნელია (ის რიცხვია, რომელზეც მრავლდება პროგრესიის ყოველი წევრი რათა მივიღოთ შემდეგი წევრი).

განხილულ შემთხვევაში  $a_1 = 1$ ,  $q = \frac{1}{z}$ , ამიტომ ჯამი გეომეტრიული პროგრესიის  $n$  წევრებისა:

$$S_n = 1 + \frac{1}{z} + \frac{1}{z^2} + \frac{1}{z^3} + \dots$$

განისაზღვრება ფორმულის მიხედვით:

$$S_n = \frac{1\left(1 - \left(\frac{1}{z}\right)^n\right)}{1 - \frac{1}{z}}$$

როდესაც  $n \rightarrow \infty$  უნდა განვიხილოთ წევრების ჯამი  $S = \lim_{n \rightarrow \infty} S_n$ . მჭკრივი ერთიანდება

როდესაც  $|q| < 1$ , კიდევ  $|z^{-1}|$  ანუ, რაც იგივეა  $|z| > 1$ . მოცემულ მაგალითში

$$S = \lim_{n \rightarrow \infty} S_n = \frac{a_1}{1-q}$$

ამიტომ

$$S = X^*(z) \frac{1}{1 - \frac{1}{z}} = \frac{z}{z-1}$$

მაგალითი 2. მოცემულია მესერული ექსპონენციალური ფუნქცია

$$x(nT) = e^{-anT}$$

სადაც  $a$  - ნამდვილი რიცხვია, ვიპოვოთ ამ ფუნქციისათვის გამოსახულება, რომელიც შეესაბამება Z - გარდაქმნას:

$$Z\{x(nT)\} = X^*(z) = \sum_{n=0}^{\infty} e^{-anT} \cdot z^{-n} = 1 + (e^{aT} \cdot z)^{-1} + (e^{aT} \cdot z)^{-2} + \dots + (e^{aT} \cdot z)^{-n} + \dots$$

იგი წარმოადგენს გეომეტრიულ პროგრესიას, რომლის წევრების ჯამი ტოლია:

$$S_n = \frac{1}{1 - (e^{aT} \cdot z)^{-1}} = \frac{z}{z - e^{-aT}} = \frac{z}{z + b}$$

სადაც  $b = -e^{-aT}$  მწკრივი იკრიბება, როდესაც  $|e^{aT} \cdot z| > 1$

შედეგად ვიღებთ:

$$X^*(z) = \frac{1}{1 - \left(\frac{d}{z}\right)}, \quad \text{где } d = \frac{1}{-b} = e^{aT}$$

(13)

### 10.3. ლაპლასის გარდაქმნის განსაკუთრებულობები

#### 1. ფუნქცია ორიგინალები

ლაპლასის გარდაქმნის ანალოგიის შესაბამისად უწყვეტი ფუნქციებისათვის შემოაქვთ ცნება ორიგინალის ფუნქციები. ეს ვრცელდება მესერულ ფუნქციებზეც.

ფუნქცია ორიგინალი აკმაყოფილებს ორ მოთხოვნას:

$$x(nT)=0 \text{ როცა } n<0, \text{ მაგალითად } x(nT)=\begin{cases} 1(nT) & \text{როცა } n>0 \\ 0 & \text{როცა } n<0 \end{cases}$$

ფაქტიურად შეიძლება ჩავთვალოთ, რომ მესერული ფუნქციები - ორიგინალები აუცილებლად შეიცავენ მამრავლს  $1(nT)$ . ამრიგად,  $Z$  - გარდაქმნა ასახავს ნახევარ უსასრულო მიმდევრობას დისკრეტული მნიშვნელობებისა კომპლექსურ სიბრტყეზე:

$|x(nT)| < M \cdot e^{\sigma_0 nT}$  (15) ეს წარმოადგენს ზრდის შეზღუდვის მოთხოვნას, რომელიც ნიშნავს, რომ მესერული ფუნქციის ორიგინალის მნიშვნელობა იზრდება ექსპონენტის ზრდის სისწრაფეზე ნაკლებად.

#### 2. გამოსახულების პერიოდულობა

ფორმულაში (10-1) D - გარდაქმნისა არის ელემენტი  $e^{-snT}$ . შევასრულოთ მისი ანალიზი:

$$e^{-snT} = e^{-nT\sigma} \cdot e^{-jnT\omega} = e^{-nT\sigma} (\cos nT\omega - j \sin nT\omega) \quad (1)$$

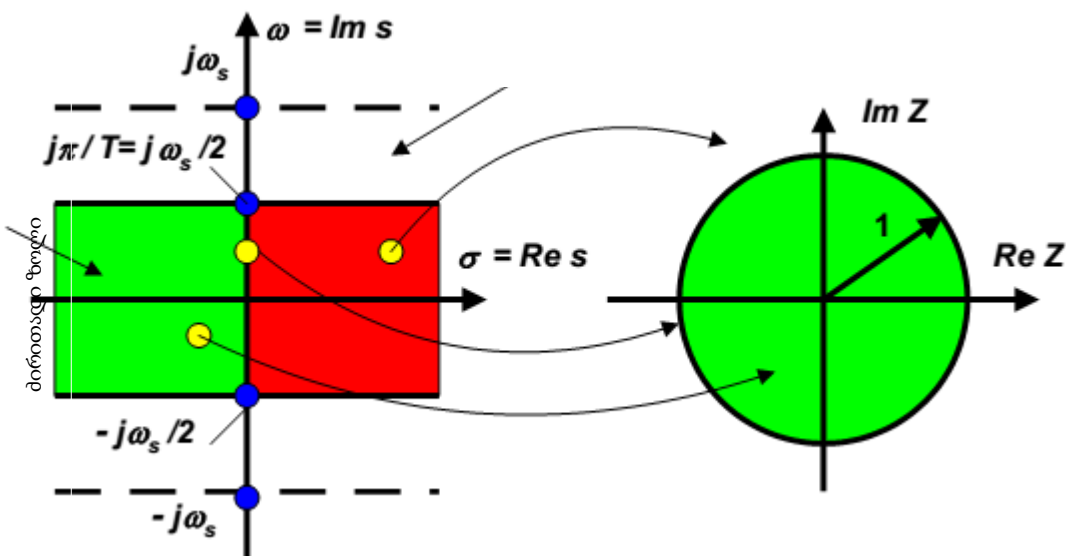
არ შეიძლება არ დავინახოთ, რომ ფუნქცია  $e^{-jnT\omega}$  მნიშვნელობები განმეორდება თუ სრულდება პირობა  $\omega nT = 2\pi i$ , ანუ როდესაც  $\omega T = 2\pi$  სადაც T - დროის მიხედვით დისკრეტიზაციის პერიოდია. ამგვარად, გამოსახულება  $X^*(s)$ , რომელიც მიღებულია D - გარდაქმნის მეშვეობით, წარმოადგენს პერიოდულ ფუნქციას და ამ გამოსახულებისათვის მართებულია ტოლობა:

$$X^*(s) = X^*(s + jk\omega_s) \quad (2)$$

სიხშირით განმეორების პერიოდი ტოლია  $j\omega_s$  სადაც  $\omega_s = \frac{2\pi}{T}$  - დაკვანტვის წრიული სიხშირეა. აქედან გამომდინარეობს, რომ გამოსახულებას  $X^*(s)$  - ის ერთნაირი მნიშვნელობები განმეორდება წრიული სიხშირისას  $\omega = \omega_s k$  სადაც  $k = 0, \pm 1, \pm 2, \pm 3, \dots$

გამოსახულების პერიოდულობიდან გამომდინარე შეიძლება დავსკვნათ რამდენადაც  $X^*(s)$  გამოსახულების მნიშვნელობა პერიოდულად მეორდება საკმარისია განვიხილოთ გამოსახულების თვისებები შეზღუდულ, ე. წ. ძირითად ზოლში

(ნახ. 10-12), რომელიც პასუხობს პირობას -  $-\frac{\pi}{T} \leq \omega < \frac{\pi}{T}$ . ხოლო არგუმენტის  $j\omega$ -ს დანარჩენი მნიშვნელობებისთვის მონაცემები  $X^*(s)$  გამოსახულების შესახებ შეიძლება მივიღოთ პერიოდულობის თვისებების გამოყენებით.



ნახ. 10-12. ძირითადი ზოლი და დამატებითი ზოლები.

აღვნიშნოთ, რომ  $Z$  - გარდაქმნის შესრულებისას წარმოსახვითი ღერძის მონაჭერი ძირითადი ზოლის საზღვრებში ლაპლასის ცვლადის  $s$  სიბრტყეზე წარმოისახება ერთეულოვანი რადიუსის მქონე წრეში. ზოლის ნაწილი წარმოსახვითი ღერძის მარცხნივ გარდაიქმნება წრის შიდა ნაწილად, ხოლო ზოლის ნაწილი, რომელიც წარმოსახვითი ღერძის მარჯვენა მხარესაა განთავსებული - წრის გარე ნაწილად. გარდა ამისა



ნებისმიერი ზოლი კომპლექსური ცვლადის სიბრტყეზე  $s$  სიგანით, რომელიც ტოლია  $\omega_s = \frac{2\pi}{T}$ , გამოისახება მთელ სიბრტყეზე  $z$  კომპლექსური ცვლადით.

#### 10.4. ლაპლასის დისკრეტული გარდაქმნის უმეტესად მნიშვნელოვანი თვისებები

ქვემოთ განხილული ლაპლასის დისკრეტული გარდაქმნების თვისებები მოყვანილია კონსპექტურ ფორმაში. ამ საკითხის უფრო დაწვრილებით შესასწავლად შესაძლებელია საჭირო ვისარგებლოთ ლიტერატურით ავტომატური მართვის თეორიის მათემატიკური საფუძვლები, ამავდროულად იქვე აღნიშნულია, სად შეიძლება ეს გამოვიყენოთ, ლაპლასის დისკრეტული გარდაქმნის ანალოგების თვისებებთან თუ ჩვეულებრივ გარდაქმნებთან:

1. წრფივობა:

$$Z\left\{\sum_{m=1}^l \lambda_m x_m(nT)\right\} = \sum_{m=1}^l \lambda_m X_m^*(z), \quad (1)$$

სადაც კოეფიციენტები  $\lambda_m = \text{const}$ ;  $X_m^*(z) = Z\{x_m(nT)\}$  (2)

წანაცვლება ორიგინალის სფეროში, რომელიც შეესაბამება ორიგინალი ფუნქციის დაგვიანებას  $k$  ტაქტით. ეს არის ე. წ. ძვრა დროის მიხედვით მარჯვნივ არაპირდაპირი ძვრა.

$$Z\{x(nT - kT)\} = z^{-k} X^*(z), \quad (3)$$

სადაც  $k \geq 0$  - მთელი რიცხვია,  $x(m) = 0$  როდესაც  $m < 0$ .

2. ორიგინალის გამრავლებას ექსპონენტზე მივყავართ გამოსახულების არგუმენტის მასშტაბის ცვლილებაზე (იხ. მაგალითი 2).

$$Z\{e^{\lambda nT} x(nT)\} = X^*\left(\frac{z}{d}\right), \text{ где } d = e^{\lambda T}. \quad (4)$$

ამიტომ საჭიროა აქ ვახსენოთ დიუამელის ინტეგრალი და მისი შესაბამისი ლაპლასის გარდაქმნის თვისება:

$$W(s) \cdot X_2(s) = L \left\{ \int_0^t w(t-\tau) \cdot x_2(\tau) d\tau \right\}, \quad (5)$$

სადაც  $w(t)$  და  $W(s)$  - სადაც ესენი შეესაბამება წონითი ფუნქცია და გადაცემის ფუნქციაა წრფივი უწყვეტი სისტემების ამავე დროს  $W(s) = L\{w(t)\}$ ;  $x_2(t)$  და  $X_2(s)$  - შემავალი ზემოქმედებებია და მათი გამოსახულებებია ლაპლასის შესაბამისად.

3. ზღვრული და საწყისი მნიშვნელობები მესერული ფუნქციის - ორიგინალის განისაზღვრება ფორმულების მიხედვით:

$$\lim_{n \rightarrow 0} x(nT) = \lim_{z \rightarrow \infty} [X^*(z)],$$

$$\lim_{n \rightarrow \infty} x(nT) = \lim_{z \rightarrow 1} \left[ \frac{z-1}{z} \cdot X^*(z) \right] = \lim_{z \rightarrow 1} [(1-z^{-1})X^*(z)], \quad (6)$$

თუ  $(1-z^{-1})X^*(z)$  - ს არ აქვს პოლუსები საზღვარზე ან ერთეულოვანი წრის გარეთ. ცნობილია, რომ ზღვრული მნიშვნელობა უწყვეტი ფუნქციის - ორიგინალის შეიძლება ნაპოვნი მისი ლაპლასური გამოსახულების საფუძველზე შემდეგი ფორმულის საშუალებით:

$$\lim_{t \rightarrow \infty} x(t) = \lim_{s \rightarrow 0} sX(s), \quad (7)$$

ხოლო მისი საწყისი მნიშვნელობა ფორმულით:

$$\lim_{t \rightarrow 0} x(t) = \lim_{s \rightarrow \infty} X(s). \quad (8)$$

მაგალითად, პერიოდული რგოლის რეაქცია  $T_1$  დროის მუდმივით და გადაცემის კოეფიციენტით, რომელიც ტოლია  $k$  ს, მის ერთეულოვან საფეხურიან ფუნქციას შეესაბამება გამოსახულება:

$$X(s) = \frac{k}{s(T_1s + 1)} \quad (9)$$

ლაპლასის მიხედვით. ამ რეაქციის ზღვრული მნიშვნელობის განსაზღვრისას, როგორც ორიგინალის ფუნქციას ვპოულობთ:

$$\lim_{t \rightarrow \infty} x(t) = \lim_{s \rightarrow 0} s \frac{k}{s(Ts + 1)} = k \quad (10)$$

4. ძვრას დროის მიხედვით მარცხნივ (უკუძვრა):

$$Z\{x(nT + kT)\} = z^k \{X^*(z) - \sum_{m=0}^{k-1} x(mT)z^{-m}\} \quad (11)$$

სადაც  $k$  - მთელი დადებითი რიცხვია. უნდა აღინიშნოს რომ ფორმულები პირდაპირი და უკუ დროში ძვრის ფორმულები არაერთგვაროვანია.

### 10.5. შებრუნებული $Z$ - გარდაქმნა

მესერული ორიგინალი ფუნქციის  $x(nT)$  - ს მოძებნა მისი გამოსახულების  $X^*(z)$  - ის მიხედვით ხორციელდება შებრუნებული  $Z$  - გარდაქმნის მეშვეობით, რომელიც აღინიშნება შემდეგნაირად

$$x(nT) = Z^{-1}\{X^*(z)\} \quad (1)$$

შემოთავაზებულია სამი პრაქტიკული მეთოდით სარგებლობა შებრუნებული  $Z$  - გარდაქმნის შესასრულებლად.

1. იმ ცხრილების გამოყენება, სადაც მოცემულია ფუნქცია - ორიგინალების შესაბამისობა მისი ლაპლასური გარდაქმნის.
2. გამორიცხვების თეორიის გამოყენება;
3. გამოსახულების განფენა რიგში მრიცხველის გამოსახულების მნიშვნელოვან გაყოფის მეშვეობით და შემდეგ გაყოფის შედეგის შედარებით იმ რიგთან, რომელიც შეესაბამება პირდაპირ  $Z$  - გარდაქმნას.

განვიხილოთ პირველი ხერხი. მაგალითი შესაბამისობა  $f(t)$  - ფუნქცია, ორიგინალის და მათი გამოსახულებების  $F(s)$  და  $F^*(z)$ , რომლებიც მიღებულია ლაპლასის გარდაქმნის საშუალებით და  $Z$  გარდაქმნის შესაბამისობით და მოყვანილია ცხრილში 10-1-ში.

ცხრილი 10-1. ცხრილი ფუნქცია - ორიგინალების შესაბამისობისა და მათი შესაბამისობებისა.

ამ ცხრილში წარმოდგენილია  $f(t)$  ფუნქცია - ორიგინალის და მათი გამოსახულებების ის ვარიანტები, რომლებიც შედარებით ხშირად გვხვდება ცხოვრებაში. უფრო სრული ვარიანტები ასეთი ცხრილებისა შეიძლება მოვძებნოთ ავტომატური მართვის იმპულსური სისტემების თეორიის სახელმძღვანელოებში. ალბათ, უკვე მიაქციეთ ყურადღება იმას, რომ ცხრილი 10-1-ში ჩანაწერის შეკვეცის მიზნით ფუნქცია - ორიგინალის გამოსახულებებში პირობითად არ არის ნაჩვენები მამრავლები  $1(nT)$ ;

შესაბამისობის ცხრილების გამოყენებისას წინასწარ უნდა წარმოვადგინოთ ფუნქცია  $X^*(z)$  უბრალო წილადების ჯამის სახით. მაგალითად, თუ გამოსახულებას აქვს შემდეგი სახე

$$X^*(z) = \frac{z(1-d)}{(z-1)(z-d)} \quad (2)$$

მაშინ მისი გამოსახულების გაშლა მარტივ ნაწილებად, მიიღებს სახეს:

$$X^*(z) = A \frac{z}{(z-1)} + B \frac{z}{(z-d)} \quad (3)$$

მრიცხველის ანალიზის შედეგად განვსაზღვრავთ  $A$  და  $B$  კოეფიციენტების მნიშვნელობას  $A = 1$  და  $B = -1$ -ს. აქედან გამომდინარე, საწყისი გამოსახულება ტოლია ორი ელემენტარული გამოსახულების ჯამისა:

$$X^*(z) = \frac{z}{z-1} - \frac{z}{z-d} \quad (4)$$

$f(t)$	$F(s)$	$F^*(z)$
1	$\frac{1}{s}$	$\frac{z}{z-1}$
$t$	$\frac{1}{s^2}$	$\frac{Tz}{(z-1)^2}$
$t^2$	$\frac{2}{s^3}$	$\frac{T^2 z(z+1)}{(z-1)^3}$
$e^{-at}$	$\frac{1}{s+a}$	$\frac{z}{z-e^{-aT}}$
$e^{\frac{t}{\tau}}$	$\frac{\tau}{1+\tau s}$	$\frac{z}{z-e^{-T/\tau}}$
$1 - e^{-at} = 1 - e^{-\frac{t}{\tau}}$	$\frac{a}{s(s+a)} = \frac{1}{s(1+\tau s)}$	$\frac{z(1-e^{-aT})}{(z-1)(z-e^{-aT})} = \frac{z(1-e^{-T/\tau})}{(z-1)(z-e^{-T/\tau})}$
$te^{-at}$	$\frac{1}{(s+a)^2}$	$\frac{Tze^{-aT}}{(z-e^{-aT})^2}$
$t^2 e^{-at}$	$\frac{2}{(s+a)^3}$	$\frac{T^2 ze^{-aT}(z+e^{-aT})}{(z-e^{-aT})^3}$
$\sin \omega t$	$\frac{\omega}{s^2 + \omega^2}$	$\frac{z \sin \omega T}{z^2 - 2z \cos \omega T + 1}$
$\cos \omega t$	$\frac{s}{s^2 + \omega^2}$	$\frac{z(z - \cos \omega T)}{z^2 - 2z \cos \omega T + 1}$
$e^{-at} \sin \omega t$	$\frac{\omega}{(s+a)^2 + \omega^2}$	$\frac{ze^{-aT} \sin \omega T}{z^2 - 2ze^{-aT} \cos \omega T + e^{-2aT}}$
$e^{-at} \cos \omega t$	$\frac{s+a}{(s+a)^2 + \omega^2}$	$\frac{z^2 - ze^{-aT} \cos \omega T}{z^2 - 2ze^{-aT} \cos \omega T + e^{-2aT}}$

შემდეგ 10-1- ცხრილის შესაბამისობის მიხედვით ფუნქცია ორიგინალისა და  $Z$  შესაბამისობით ვპოულობთ მესერულ ფუნქციას, რომელიც ეთანადება ამ ელემენტალურ გამოსახულებებს (რომელთა ჯამებიც წარმოადგენენ მესერულ ფუნქციას) და ესაბამება საწყის  $X^*(z)$  გამოსახულებას.

ცხრილის საშუალებით ვსაზღვრავთ, რომ გამოსახულება  $\frac{z}{z-1}$  შეესაბამება მესერული ფუნქცია  $1(nT)$ , ხოლო გამოსახულებას  $\frac{z}{z-d}$ , სადაც,  $d = e^{-aT}$  მესერული ფუნქცია  $e^{-anT} 1(nT)$  ყურადღება მივაქციოთ იმას, რომ მიღებული მესერული ფუნქციები აუცილებლად შეიცავენ მამრავლს  $1(nT)$ , რადგანაც ისინი უნდა აკმაყოფილებდნენ იმ მოთხოვნებს, რომლებიც წაეყენება ფუნქცია - ორიგინალს. ამრიგად, გამოსახულებას  $X^*(z)$  შეესაბამება მესერული ფუნქცია  $(1 - e^{-anT})1(nT)$ ;

გამოქვითვების თეორიის საფუძველზე მესერული ფუნქცია-ორიგინალი განისაზღვრება შემდეგი ოპერაციის შედეგად,

$$x(n) = \sum_{v=1}^m \operatorname{Res} [X^*(z)z^{n-1}] \Big|_{z=z_v} \quad (5)$$

მოყვანილ ფორმულაში  $z_v$  წარმოადგენენ პოლუსებს  $X^*(z)$  ფუნქციის, როდესაც  $z = z_v$  მნიშვნელი  $X^*(z)$  ხდება ნოლის ტოლი.

განვიხილოთ ორი სიტუაცია

ა) იმ შემთხვევაში ფუნქცია  $X^*(z)$  შეიცავს  $l$  მარტივ პოლუსებს,

$$x(n) = \sum_{v=1}^l \lim_{z \rightarrow z_v} [(z - z_v)X^*(z) \cdot z^{n-1}]. \quad (6)$$

მაგალითად, ფუნქციას  $X^*(z) = \frac{z}{z-1}$  აქვს ერთი მარტივი პოლუსი  $z_1 = 1$ , ამიტომ  $l = 1$ . გამოსათვლელი მესერული ფუნქცია განისაზღვრება ფორმულით:

$$x(nT) = \lim_{z \rightarrow 1} \left[ \frac{z}{z-1} (z - z_v)X^*(z) \cdot z^{n-1} \right] = \lim_{z \rightarrow 1} z^n = 1(nT) \quad (7)$$

ბ) იმ შემთხვევაში, თუ გამოსახულებას აქვს პოლუსები, რომლებიც  $r$  - ის ჯერადია, აუცილებელია ვისარგებლოთ ფორმულით:

$$\operatorname{Res} [X^*(z) \cdot z^{n-1}] \Big|_{z=z_v} = \frac{1}{(r-1)!} \lim_{z \rightarrow z_v} \frac{d^{r-1}}{dz^{r-1}} [X^*(z)(z - z_v)^r \cdot z^{n-1}]. \quad (8)$$

განვიხილოთ  $Z$ -შებრუნებული გარდაქმნის შესრულების შესაძლებლობა გამოსახულების დაშლის გზით მწკრივის მისაღებად და შევადაროთ იგი იმ მწკრივს, რომელიც შეესაბამება პირდაპირ  $Z$  - გარდაქმნას. თუ გავყოფთ მრიცხველს მნიშვნელზე, გამოსახულებაში  $X^*(z)$ , მაშინ მივიღებთ შემდეგი სახის მწკრივს:

$$X^*(z) = c_0 + c_1 z^{-1} + c_2 z^{-2} + \dots \quad (9)$$

მეორეს მხრივ,  $Z$  - გარდაქმნის განსაზღვრებიდან გამომდინარე:

$$X^*(z) = \sum_{n=0}^{\infty} x(nT) z^{-n} = x(0) + x(T) z^{-1} + x(2T) z^{-2} + \dots \quad (10)$$

ამ ორი მწკრივის შედარებიდან ნათლად ჩანს, რომ

$$x(0) = c_0, \quad x(T) = c_1, \quad x(2T) = c_2, \quad \dots \quad (11)$$

ამგვარად, კოეფიციენტების მნიშვნელობები  $c_0, c_1, c_2, \dots$  წარმოადგენენ მესერული ფუნქციის მნიშვნელობებს ტაქტურ მომენტებში  $t = 0, t = T, t = 2T, \dots$

აქედან ნათლად ჩანს, რომ მესერული ფუნქციის მნიშვნელობების პოვნა საკმაოდ მარტივია. მაგრამ უნდა გავითვალისწინოთ ამ უკანასკნელი ხერხის უარყოფით მხარეს წარმოადგენს ის რომ, იგი არ გვაძლევს  $x(nT)$ , ფუნქციის ანალიტიკურ გამოსახულებას, მხოლოდ გვაძლევს შესაძლებლობას განვსაზღვროთ მისი მნიშვნელობების თანამიმდევრობა, რომელიც მოიძებნებოდა რიგრიგობით, დაწყებული იმ მნიშვნელობიდან, რომელიც შეესაბამება:  $n = 0$ .

უნდა გვქონდეს მხედველობაში, რომ მესერული ფუნქცია - ორიგინალი  $x(nT)$ , ერთმნიშვნელოვნად განისაზღვრება  $X^*(z)$  გამოსახულების მიხედვით. მაგრამ აღვადგინოთ ერთმნიშვნელოვნად უწყვეტი ფუნქცია  $x(t)$ , რომლის დისკრეტიზაციის შედეგად მიღებულია მესერული ფუნქცია შეუძლებელია. ეს გამოწვეულია იმით, რომ გამოსახულება  $X^*(z)$  არ შეიცავს ინფორმაციას  $x(t)$  ფუნქციის ცვლილების დროით დაკვანტვის მომენტებს შორის.

## თავი 11 იმპულსური სისტემების დისკრეტული გადამცემი ფუნქციები

### 11.1. იმპულსური სისტემის დისკრეტული გადამცემი ფუნქციის წარმოდგენა

როგორც ცნობილია, უწყვეტი ობიექტის მოდელი შეიძლება ფორმირებული იყოს გადამცემი ფუნქციის სახით, როგორც ფარდობის ტიპი „შემავალ - გამომავალი“. იგი თვისობრივად წარმოადგენს გამომავალი სიგნალის ლაპლასური გარდაქმნის ფარდობას შემავალი სიგნალის ლაპლასურ გარდაქმნასთან იმ პირობით, რომ ეს გარდაქმნები შესრულებულია საწყისი ნულოვანი პირობების დროს. იმპულსური სისტემა აგრეთვე შეიძლება დახასიათდეს „შემავალი - გამომავალის“ მოდელის ტიპით, რომელიც მიღებულია  $Z$  - გარდაქმნის საშუალებით.

განვიხილოთ იმპულსური სისტემის აღწერა  $m$  - ხარისხის სხვაობით ტოლობის სახით:

$$\begin{aligned} a_0 x(nT) + a_1 x[T(n-1)] + \dots + a_m x[T(n-m)] = \\ = b_0 g[T(n-l)] + b_1 g[T(n-l-1)] + \dots + b_k g[T(n-l-k)] \end{aligned} \quad (1)$$

სადაც  $x(nT)$  - მესერული ფუნქცია, რომელიც აღწერს სისტემის გამომავალ სიგნალს, ხოლო  $g(nT)$  - მესერული ფუნქცია, რომელიც ახასიათებს იმ სიგნალს, რომელიც მოქმედებს მის შესასვლელზე. ამავდროულად უნდა აღვნიშნოთ, რომ სამართლიანია შემდეგი ფარდობები:

$$\begin{aligned} m = l + k, \quad l = m - k, \quad n - l = n - m + k, \\ n - l - 1 = n - m + k - 1, \quad n - l - k = n - m. \end{aligned} \quad (2)$$

ჩავთვალოთ, რომ საწყისი მნიშვნელობები ნულის ტოლია და შევასრულოთ  $Z$  - გარდაქმნა სხვაობითი ტოლობის თითოეული შემადგენლისათვის. ამავე დროს გამოვიყენოთ სიგნალის მარჯვნივ წანაცვლების თვისება (თვისება 2), რომელიც იმ შემთხვევაში, როცა ხდება სიგნალის დაგვიანება ტაქტის ნებისმიერი რიცხვის რაოდენობით, რომელიც ტოლია  $r$  რიცხვისა, ფორმირდება შემდეგნაირად:

$$Z \{x(nT - rT)\} = Z \{x[T(n-r)]\} = z^{-r} X^*(z) \quad (3)$$



აქ  $X^*(z)$  - წარმოდგენენ  $x(nT)$  მესერული ფუნქციის გამოსახულებას, რომელიც მიღებულია Z - გარდაქმნის მეშვეობით. შედეგი, თუ შემოვიტანთ შემავალი

ზემოქმედებისათვის აღნიშვნას  $G^*(z) = Z\{g(nT)\}$ , მივიღებთ ალგორითმულ ტოლობას:

$$\begin{aligned} a_0 X^*(z) + a_1 X^*(z)z^{-1} + a_2 X^*(z)z^{-2} + \dots + a_m X^*(z)z^{-m} = \\ = b_0 G^*(z)z^{-l} + b_1 G^*(z)z^{-(l+1)} + \dots + b_k G^*(z)z^{-(l+k)}. \end{aligned} \quad (4)$$

საერთო მამრავლებში შევიტანოთ  $X^*(z)$  და  $G^*(z)$  და განვიხილოთ მათი ფარდობები:

$$W^*(z) = \frac{X^*(z)}{G^*(z)} = \frac{b_0 + b_1 z^{-1} + \dots + b_k z^{-k}}{a_0 + a_1 z^{-1} + a_2 z^{-2} + \dots + a_m z^{-m}} z^{-l} \quad (5)$$

მიღებულ გამოსახულებას ეწოდება სისტემის დისკრეტული გადამცემი ფუნქცია.

იმპულსური სისტემის დისკრეტული გადამცემი ფუნქცია - არის Z - გარდაქმნის გამომავალი ზემოქმედების ფარდობა, შემავალი ზემოქმედების Z - გარდაქმნასთან ამავე დროულად ეს გარდაქმნები უნდა იყოს შესრულებული ნულოვანი საწყისი პირობების დროს.

ელემენტი  $z^{-l}$  გადამცემი ფუნქციის გამოსახულებაში შეესაბამება დაყოვნების რგოლს  $lT$  - დროით ან  $l$  - რგოლებს, რომლებიც განლაგებულია ერთმანეთის მიმდევრობით და მათგან თითოეული ახდენს სიგნალის დროში დაყოვნებას, რომლის ხანგრძლივობაც ტოლია დაკვანტვის პერიოდის T დროის მიხედვით.

ნათელია, რომ როდესაც  $l=0$  ფარდობითი ტოლობა მიიღებს სახეს:

$$\begin{aligned} a_0 x(nT) + a_1 x[T(n-1)] + \dots + a_m x[T(n-m)] = \\ = b_0 g(Tn) + b_1 g[T(n-1)] + \dots + b_m g[T(n-m)] \end{aligned} \quad (6)$$

ხოლო იმპულსური სისტემის დისკრეტული გადამცემი ფუნქცია:

$$W^*(z) = \frac{X^*(z)}{G^*(z)} = \frac{b_0 + b_1 z^{-1} + \dots + b_m z^{-m}}{a_0 + a_1 z^{-1} + a_2 z^{-2} + \dots + a_m z^{-m}} \quad (7)$$

დისკრეტული გადამცემი ფუნქცია გვაძლევს იმის საშუალებას, რომ მივიღოთ მესერული ფუნქცია  $x(nT)$ , რომელიც სისტემის გამომავალ მნიშვნელობებს დაკვანტვის მომენტებში, ამიტომ ხორციელდება  $Z$  - გარდაქმნა შემავალი  $G^*(z)$  სიგნალის და გამოითვლება გამომავალი სიგნალის გამოსახულება:

$$X^*(z) = W^*(z)G^*(z) \quad (8)$$

და მისთვის სრულდება პირუკუ  $Z$  - გარდაქმნა:

$$x(nT) = Z^{-1} \left\{ W^*(z)G^*(z) \right\} \quad (9)$$

## 11.2. დისკრეტული გადამცემი ფუნქციის განსაზღვრის მაგალითები

მაგალითი 1.

იმპულსური გამაძლიერებელი მოწყობილობა. შემავალი  $u(nT)$  და გამომავალი სიგნალები  $x(nT)$  განიხილება დროის დისკრეტულ მომენტებში. კავშირი მათ შორის დამყარებულია ტოლობით:

$$x(nT) = ku(nT) \quad (10)$$

სადაც  $k$  - გაძლიერების კოეფიციენტი. კერძოდ, ასეთი გამაძლიერებლის როლი შეიძლება შეასრულოს მმართველმა კომპიუტერმა. შევასრულოთ  $Z$  - გარდაქმნა და მივიღებთ:

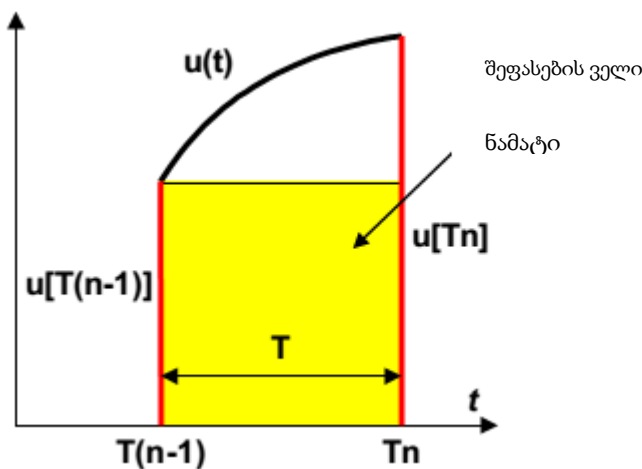
$$X^*(z) = k \cdot U^*(z) \quad (11)$$

აქ გამოიყენება  $Z$  - გარდაქმნის წრფივობა. გამამლიერებლის გადამცემ ფუნქციას აქვს შემდეგი სახე

$$W^*(z) = \frac{X^*(z)}{U^*(z)} = k \quad (12)$$

მაგალითი 2.

მაინტეგრირებელი მოწყობილობა. დავუშვათ, რომ  $u(t)$  ფუნქციის ინტეგრირება ხდება რიცხობრივად მართკუთხედების მეთოდით (ნაკლებობით), რომლის შესაბამისადაც გამომავალი სიგნალის  $x(t)$  - ს გამოთვლა ხდება დროის მიმდინარე მომენტში, შემავალი სიგნალის წინა დროის ტაქტური მომენტის მნიშვნელობის გამოყენებით, რომელიც დაძრულია  $T$  - თი მიმდინარესთან მიმართებით (ნახ. 7 -1):



11.1. ინტეგრალის ნამატის გამოთვლა მართკუთხედების მეთოდით (ნაკლებობით).

გამომავალი სიდიდის  $\Delta x(t)$  - ს ნამატი რიცხობრივი ინტეგრირების დროს ერთ ბიჯში,  $T(n-1)$  და  $Tn$  დროის მომენტებს შორის გამოითვლება ფორმულით:

$$\Delta x(t) = \int_{(n-1)T}^{nT} u(\tau) d\tau \quad (13)$$

და ფასდება  $\nabla x[nT]$  უკუსხვაობის მეშვეობით:

$$\nabla x(nT) = u[(n-1)T] \cdot T \quad (14)$$

ამავე დროს  $T$  - ს საკმაოდ მცირე მნიშვნელობისას შეიძლება მივიღოთ:

$$\Delta x(t) \approx \nabla x(nT) \quad (15)$$

აქედან მივიღებთ სხვაობით ტოლობას, რომელიც აღწერს რიცხვითი ინტეგრირების პროცესს

$$\nabla x(nT) = x(nT) - x[T(n-1)] = T \cdot u[T(n-1)] \quad (16)$$

წინა ტოლობის თითოეული კომპონენტის  $Z$  - გარდაქმნის შედეგად ვიღებთ ალგებრულ ტოლობას

$$X^*(z) - X^*(z) \cdot z^{-1} = T \cdot U^*(z) \cdot z^{-1} \quad (17)$$

სადაც  $X^*(z)$  -  $Z$  - გამოსახულებაა  $x(nT)$  მესერული ფუნქციის,  $U^*(z)$  -  $Z$ - გამოსახულებაა შემავალი ზემოქმედების. ამ ტოლობის საფუძველზე ვპოულობთ მაინტეგრირებელი მოწყობილობის დისკრეტულ გადამცემ ფუნქციას  $W_1^*(z)$ . როდესაც ინტეგრირება ხდება მართკუთხედების მეთოდით ნაკლებობით:

$$W_1^*(z) = \frac{X^*(z)}{U^*(z)} = \frac{Tz^{-1}}{1-z^{-1}} = \frac{T}{z-1} \quad (18)$$

განხილული ინტეგრირების მეთოდის რეალიზაციას თან ახლავს ინტეგრალის გამოთვლის ცდომილებები, რაშიც შეიძლება დავრწმუნდეთ ნახ. 11.1-ის საფუძველზე.

ამავე დროს, ცხადია, რომ ინტეგრირების ცდომილება მით უფრო ნაკლებია, რამდენადაც ნაკლებია დრო  $T$  - ში დაკვანტვის პერიოდის მნიშვნელობა.

თუ მოვახდენთ ინტეგრირებას მართკუთხედების მეთოდით, მაშინ  $\Delta x(t)$  ნამატი მაინტეგრირებელი მოწყობილობის გამომავალი სიდიდის:

$$\Delta x(t) = \int_{(n-1)T}^{nT} u(\tau) d\tau \quad (19)$$

ფასდება უკუსხვაობის  $\nabla x(nT)$  - ს დახმარებით შემავალი სიგნალის მეშვეობით მომენტებში  $t = nT$  (ნახ. 11.2)

$$\nabla x(nT) = u(nT)T \quad (20)$$

ამავე დროს საკმაოდ მცირე  $T$  - ს მნიშვნელობისას შეიძლება მივიღოთ:

$$\Delta x(t) \approx \nabla x(nT) \quad (21)$$

ამ შემთხვევაში სხვაობით ტოლობას აქვს სახე:

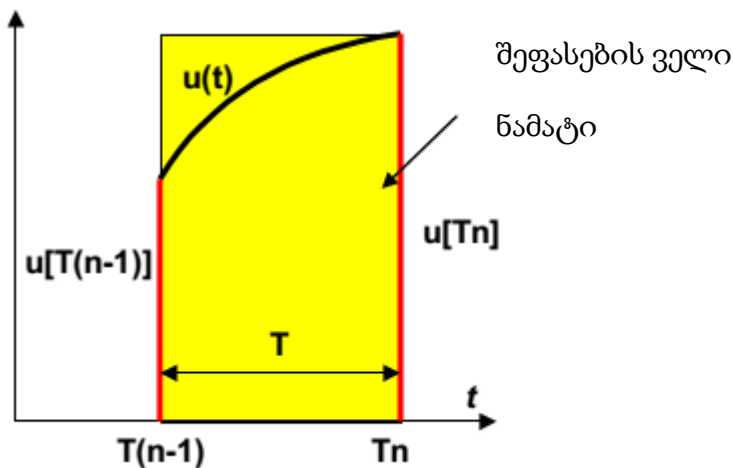
$$x(nT) - x[T(n-1)] = T \cdot u(nT) \quad (22)$$

ამიტომ  $Z$  - გარდაქმნის შედეგად მივიღებთ ტოლობას:

$$X^*(z) - X^*(z) \cdot z^{-1} = T \cdot U^*(z) \quad (23)$$

რომლიდანაც გამომდინარეობს, რომ მაინტეგრირებელი მოწყობილობის გადამცემი ფუნქცია  $W_2^*(z)$  ინტეგრირებისას მართკუთხედების მეთოდით მეტობით:

$$W_2^*(z) = \frac{T}{1 - z^{-1}} = \frac{Tz}{z - 1} \quad (24)$$

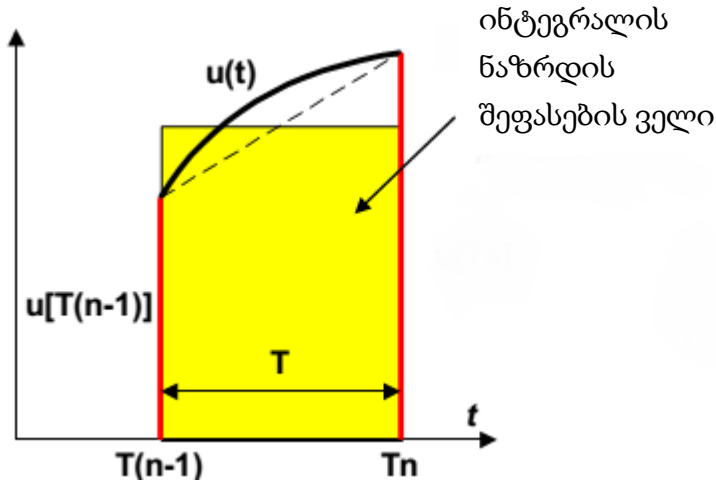


ნახ. 11.2. ინტეგრალის ნამატის გამოთვლა მართკუთხედების მეთოდით.

ცვლადი  $z$  - ის არსებობა მიღებული გადამცემი  $W_2^*(z)$  - ის ფუნქციის მრიცხველში არ არის შემთხვევითი. ეს ადასტურებს იმას, რომ სიგნალი დაძრულია ერთი ტაქტით წინ, შედარებით წინა ჩატარებული ინტეგრირების ვარიანტისგან. ინტეგრირების ამ მეთოდის რეალიზაციას აგრეთვე თან ახლავს ინტეგრალის გამოთვლის ცდომილებები, ამავედროულად უნდა აღინიშნოს, რომ ცდომილებები მცირდება  $T$  პერიოდის მნიშვნელობის შემცირებისას.

განვიხილოთ მაინტეგრირებელი მოწყობილობის დისკრეტული გადამცემი ფუნქცია, სადაც სრულდება რიცხვითი ინტეგრირება ტრაპეციის მეთოდით. ეს მეთოდი წარმოადგენს უფრო ზუსტ მეთოდს, ვიდრე წინა ორი. ნახ. 11.3-ის განხილვიდან გამომდინარეობს, რომ ნაზრდი გამომავალი სიდიდის რიცხვითი ინტეგრირების ერთ ნაბიჯზე გამოითვლება ფორმულით:

$$\int_{(n-1)T}^{nT} u(\tau) d\tau \approx \frac{T}{2} \{u[nT] + u[T(n-1)]\} \quad (25)$$



ნახ. 11.3. ინტეგრალის ნაზრდის გამოთვლა ტრაპეციის მეთოდით.

სხვაობით ტოლობას აქვს სახე:

$$x(nT) - x[T(n-1)] = \frac{T}{2}u(nT) + \frac{T}{2}u[T(n-1)] \quad (26)$$

რომლისგანაც  $Z$  - გარდაქმნის შედეგად მიიღება ტოლობა:

$$X^*(z)[1 - z^{-1}] = \frac{T}{2}U^*(z)[1 - z^{-1}] \quad (27)$$

და დისკრეტული გადამცემი ფუნქცია:

$$W_3^*(z) = \frac{X^*(z)}{U^*(z)} = \frac{T}{2} \cdot \frac{1 + z^{-1}}{1 - z^{-1}} = \frac{T}{2} \cdot \frac{z + 1}{z - 1} \quad (28)$$

დიდ სირთულეს არ წარმოადგენს იმაში დარწმუნება, რომ ეს დისკრეტული გადამცემი ფუნქცია წარმოადგენს ზემოთ განხილულ ორი გადამცემი ფუნქციის კომბინაციას:

$$W_3^*(z) = \frac{1}{2}W_1^*(z) + \frac{1}{2}W_2^*(z) \quad (29)$$

რადგანაც ტრაპეციის მეთოდი წარმოადგენს ორი წინა მეთოდის კომბინაციას.

მიღებული შედეგების საფუძველზე შეიძლება დავასკვნათ:

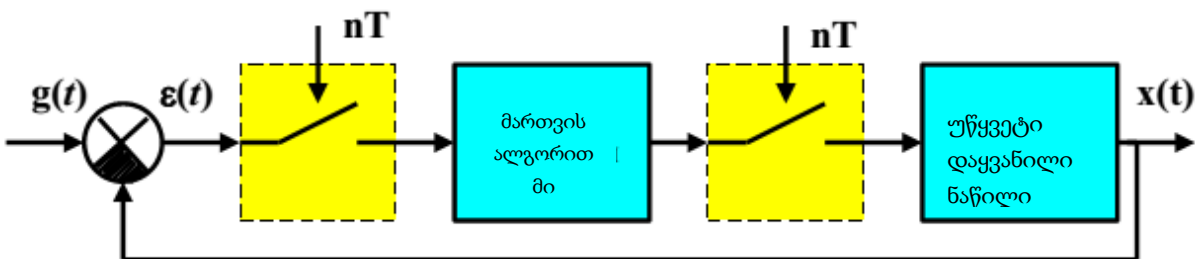
რიცხვითი ინტეგრირება შეიძლება განვახორციელოთ სხვადასხვა მეთოდით, რომლებიც ერთმანეთისაგან განსხვავდება გამოთვლის სხვადასხვა სირთულით და ცდომილებებით, რომლებიც მცირდება დისკრეტიზაციის პერიოდის შემცირებასთან ერთად.

მაინტეგრირებელი მოწყობილობის გადამცემი ფუნქციის სახე დამოკიდებულია რიცხვითი ინტეგრირების რეალიზების მეთოდთან.

კომპონენტები  $1 - z^{-1}$  და  $z^{-1}$  მიღებული გადამცემი ფუნქციის მნიშვნელობებში დამახასიათებელია მაინტეგრირებელი მოწყობილობებისათვის იმის მიუხედავად, თუ რიცხვითი ინტეგრირების რომელი მეთოდი იქნა გამოყენებული.

### 11.3. დისკრეტული გადამცემი ფუნქციები დაყვანილი უწყვეტი ნაწილების და მართვის ღია იმპულსური სისტემის ამოცანის დაყენება და პრობლემა

განვიხილოთ ჩაკეტილი იმპულსური სისტემა, ჩაკეტილი ერთეულოვანი უარყოფითი უკუკავშირით, რომელიც პირდაპირ წრედში შეიცავს მმართველ კომპიუტერს და დაყვანილ უწყვეტ ნაწილს. სისტემის სტრუქტურა ნაჩვენებია ნახ. 11.4-ზე:



ნახ. 11.4. იმპულსური სისტემის სტრუქტურული სქემა. უწყვეტი შემავალი ზემოქმედება  $g(t)$  წარმოშობს უწყვეტ რეგულირებულ ცვლადს  $x(t)$  - ს



სისტემის გამოსასვლელზე. განთანხმება  $\varepsilon(t)$  ექვემდებარება დროის მიხედვით დაკვანტვას  $T$  პერიოდით და გარდაისახება მართვის ალგორითმის შესაბამისად მმართველ ზემოქმედებად. გარდასახვის შედეგი გაიცემა დროის დისკრეტულ მომენტებში ფიქსატორზე, რომლის აღწერასაც შეიცავს სისტემის უწყვეტი ნაწილის დაყვანილი მოდელის შემადგენლობაში. ვთვლით, რომ დროის დანახარჯი კომპიუტერში მართვის ალგორითმის რეალიზაციაზე იმდენად მცირეა დროის მიხედვით დაკვანტვის  $T$  პერიოდთან, რომ შეიძლება უგულებელვყოთ. ამიტომ ჩამკეტები, რომლებიც ახასიათებენ იდეალურ დამკვანტავებს კომპიუტერის შესასვლელზე და გამოსასვლელზე, ჩაიკეტება სინქრონულად და სინფაზურად. მოითხოვება, დისკრეტული გადამცემი ფუნქციის გახსნილი იმპულსური სისტემის განსაზღვრა.

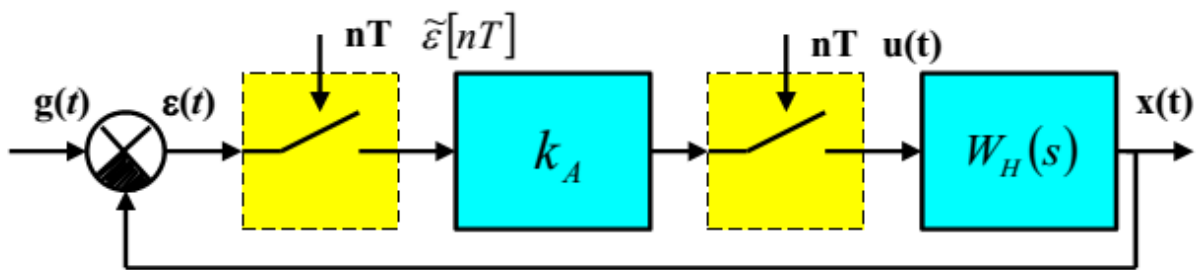
განვიხილოთ შემთხვევა, როდესაც კომპიუტერი ახდენს გამრავლების ალგორითმის რეალიზაცია შემავალი ზემოქმედების გაძლიერების კოეფიციენტზე, რომელიც ტოლია  $k_A$ . ასეთი მართვის ალგორითმი ხასიათდება დისკრეტული გადამცემი ფუნქციით:

$$W_A^*(z) = k_A \tag{30}$$

იმპულსური სისტემის დაყვანილ უწყვეტ ნაწილს აქვს გადამცემი ფუნქცია:

$$W_H(s) = W_\phi(s) \cdot W_o(s) = \frac{1}{s} (1 - e^{-sT}) \cdot W_o(s) \tag{31}$$

სადაც  $W_o(s)$  - მართვის უწყვეტი ობიექტის გადამცემი ფუნქციაა. ამ შემთხვევაში იმპულსური სისტემის მათემატიკური მოდელის სტრუქტურულ სქემას ექნება ნახ. 7.5 -ზე წარმოდგენილი სახე.



ნახ. 11.5. იმპულსური სისტემის სტრუქტურული სქემა.

რომელშიც კომპიუტერი იმის გათვალისწინებით, რომ  $k_A$  კონსტანტაზე გამრავლება წარმოადგენს წრფივ ოპერაციას, ამოცანის გამარტივების მიზნით მიზანშეწონილია

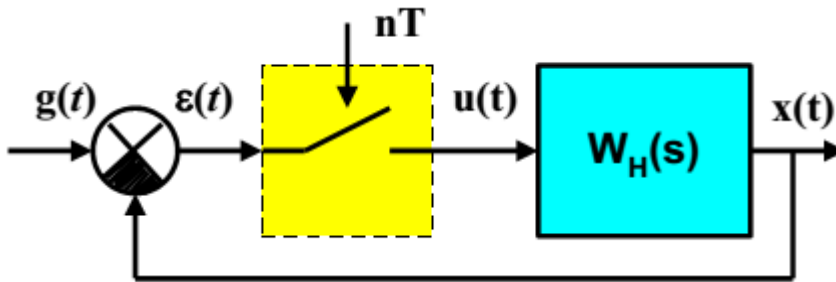
გაძლიერების კოეფიციენტი  $k_A$  ჩავრთოთ დაყვანილი უწყვეტი ნაწილის შემადგენლობაში. მისი გადამცემი ფუნქცია მიიღებს სახეს:

$$W_H(s) = k_A \frac{1}{s} (1 - e^{-sT}) W_o(s) \quad (32)$$

ამ შემთხვევაში მართვის ალგორითმის აქვს დისკრეტული გადამცემი ფუნქცია:

$$W_A^*(z) = 1, \quad (33)$$

და იმპულსური სისტემის მათემატიკური მოდელის სტრუქტურა მარტივდება (ნახ. 7-6):



ნახ. 11-6. იმპულსური სისტემის სტრუქტურული სქემა, რომელშიც კომპიუტერი ახდენს გაძლიერების ერთეულოვან კოეფიციენტზე გამრავლებას.

დაყვანილი უწყვეტი ნაწილის შესასვლელზე მოდებულია მმართველი ზემოქმედება  $u(t) = \tilde{\varepsilon}(nT)$  რომელიც წარმოიქმნება იდეალური დამკვანტავის გამოსასვლელზე:

$$\tilde{\varepsilon}(nT) = \varepsilon(t) \cdot \sum_{n=-\infty}^{\infty} \delta(t - nT) \quad (34)$$

სისტემის დაყვანილი უწყვეტი ნაწილისათვის მართებულია თანაფარდობა:

$$X(s) = W_H(s) \cdot U(s) \quad (35)$$

ეს ნიშნავს, რომ ლაპლასის ჩვეულებრივი გარდაქმნა  $u(t)$  ფუნქციის ფაქტურად წარმოადგენს ლაპლასის დისკრეტული  $\tilde{\varepsilon}(nT)$  სიდიდის. ამრიგად, გამომავალი სიგნალის  $X(s)$ -ს გამოსახულება ლაპლასის მიხედვით განისაზღვრება ფორმულით:

$$X(s) = W_H(s) \sum_{n=0}^{\infty} \tilde{\varepsilon}(nT) e^{-snT} \quad (36)$$

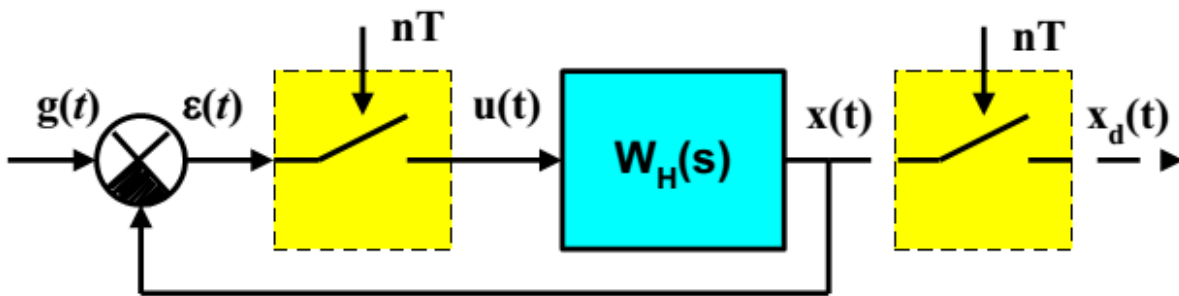
მაგრამ ამ დროს ხდება სერიოზული პრობლემის გამოაშკარავება. იგი მდგომარეობს იმაში, რომ ლაპლასის მიხედვით მიღებულ გამოსახულებაში  $E(s)$  - ში არ შეგვიძლია გამოვყოთ შემავალი ცვლადი  $\varepsilon(t)$  და ამიტომ შეუძლებელია მოვახდინოთ გადამცემი ფუნქციის ფრომირება, მისი გაყოფით  $X(s)$  გამოსახულება და  $E(s)$  გამოსახულებად.

ეს ნიშნავს იმპულსურის სისტემის „შესავალ - გამოსავალს“-ს შორის კავშირი, რომელიც შედგება დისკრეტული და უწყვეტი ელემენტებისაგან, შეუძლებელია აღწეროთ ჩვეულებრივი გადამცემი ფუნქციით.

პრობლემის გადაწყვეტა. იმპულსური სისტემის გადამცემი ფუნქციის მისაღებად იძულებულები ვხდებით უარი ვთქვათ გამომავალი ცვლადის განხილვაზე როგორც უწყვეტი სიდიდისა. უნდა განვიხილოთ არა როგორც უწყვეტი სიგნალი  $x(t)$ , არამედ როგორც დროში დისკრეტული სიგნალი  $x_d(t)$ , რომელიც მიიღება რეალური გამომავალი  $x(t)$  - ს მნიშვნელობისგან დისკრეტულ  $t = nT$  დროის მომენტებში. ეს არის იმის ეკვივალენტური, რომ სისტემის გამოსასვლელზე დგას ფიქტური იდეალური დამკვანტავი, რომელიც ახდენს  $x_d(t)$  სიგნალის ფრომირებას შემდეგი ტოლობის შესაბამისად:

$$x_d(t) = x(t) \sum_{n=-\infty}^{\infty} \delta(t - nT) \quad (37)$$

ამ შემთხვევაში იმპულსური სისტემის სტრუქტურა გამოიყურება შემდეგნაირად:



ნახ. 11.7. იმპულსური სისტემის სტრუქტურული სქემა ფიქტური იდეალური დამკვანტავით.

ნათლად ჩანს, რომ  $\delta$  - ფუნქციის მიმდევრობა, რომელიც ახასიათებს დისკრეტულ  $x_d(t)$  სიგნალს, არის მოდულირებული უწყვეტი რეალური გამომავალი  $x(t)$  სიგნალით.

ღია (გახსნილი) იმპულსური სისტემის დისკრეტული გადამცემი ფუნქციის მისაღებად უნდა შევასრულოთ გარკვეული მათემატიკური გარდაქმნები, ამისათვის უნდა მივყვეთ რეკომენდაციებს, რომლებიც მოცემულია სხვადასხვა ლიტერატურაში. შევიყვანოთ განხილვაში წონის ფუნქციის ცნება დაყვანილი უწყვეტი ნაწილისათვის:

$$w_H(t) = L^{-1}\{W_H(s)\}$$

რომელიც წარმოადგენს უწყვეტი ობიექტის რეაქციას, გადამცემი  $W_H(s)$  ფუნქციით, შემავალ ზემოქმედებაზე  $\delta$  - ფუნქციის სახით. ამ წონით ფუნქციის დახმარებით განვსაზღვროთ რეაქცია  $x(t)$  დაყვანილი უწყვეტი ნაწილის  $u(t) = \tilde{\varepsilon}(nT)$  ზემოქმედებაზე, ამისათვის გამოვიყენოთ დიუამელის ინტეგრალი, რომელიც ახასიათებს ფუნქცია - ორიგინალებს ხვეულს:

$$x(t) = \int_0^{\infty} w_H(t - \tau) \tilde{\varepsilon}(n\tau) d\tau$$

სადაც  $\tilde{\varepsilon}(n\tau) = u(\tau)$

თუ გავითვალისწინებთ, რომ იდეალური დამკვანტავის გამოსასვლელზე წარმოიქმნება სიდიდე.

$$\tilde{\varepsilon}(n\tau) = \varepsilon(\tau) \sum_{n=-\infty}^{\infty} \delta(\tau - nT),$$

შეიძლება ჩავწეროთ ტოლობა:

$$x(t) = \int_0^{\infty} w_H(t - \tau) \varepsilon(\tau) \sum_{n=-\infty}^{\infty} \delta(\tau - nT) d\tau$$

მაშინ ფიქტიური დამკვანტავის გამომავალი სიგნალი აღიწერება ტოლობით:

$$x_d(t) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} \delta(t - nT) \int_0^{\infty} w_H(t - \tau) \varepsilon(\tau) \sum_{n=-\infty}^{\infty} \delta(\tau - nT) d\tau$$

$\delta$  - ფუნქციების ჯამი, რომელიც დამოკიდებულია  $t$  - ზე და არ არიან დამოკიდებული  $\tau$  -ზე შეიძლება შეყვანილი იქნან ინტეგრალის ნიშნის ქვეშ, რადგანაც ინტეგრირება სრულდება  $\tau$  - უს მიხედვით:

$$x_d(t) = \int_0^{\infty} \sum_{n=-\infty}^{\infty} \delta(t - nT) w_H(t - \tau) \varepsilon(\tau) \sum_{n=-\infty}^{\infty} \delta(\tau - nT) d\tau$$

ინტეგრალში შეტანილი გამოსახულება მხოლოდ დროის დისკრეტულ მომენტებში არ არის ნულის ტოლი  $\tau = nT$ . ყველა სხვა შემთხვევაში:

$$\sum_{n=-\infty}^{\infty} \delta(\tau - nT)$$

ნულის ტოლი. ამიტომ ინტეგრალის ამოხსნისას უნდა განვიხილოთ  $\tau = nT$  არგუმენტის დისკრეტული მნიშვნელობები. ამ შემთხვევაში ჯამი:

$$\sum_{n=-\infty}^{\infty} \delta(t - nT)$$

შეიძლება ჩავანაცვლოთ ჯამით:

$$\sum_{n=-\infty}^{\infty} \delta(t - \tau - nT)$$

სინამდვილეში ეს ნიშნავს ძვრას (დაყოვნებას) ყველა  $\delta$  - იმპულსის უსასრულო მიმდევრობის ტაქტების მთელ რიცხვზე ანუ  $\tau = nT$  -თი. ამავე დროს დროში დაძრული  $\delta$  - იმპულსი თავიდან ხვდება იმ ადგილზე, რომელიც ძვრამდე ეკავა სხვა  $\delta$  - იმპულსს. ამიტომ  $\delta$  - იმპულსების უსასრულო მიმდევრობა არ შეიცვლება და ასეთი შეცვლა იქნება ეკვივალენტური.

განხილული გარდაქმნების შედეგად ვიღებთ ტოლობას, რომელიც აღწერს სიგნალს ფიქტიური დამკვანტავის გამოსასვლელზე:

$$x_d(t) = \int_0^{\infty} \sum_{n=-\infty}^{\infty} \delta(t - \tau - nT) w_H(t - \tau) \sum_{n=-\infty}^{\infty} \delta(\tau - nT) \varepsilon(\tau) d\tau$$

მიღებული ტოლობა შეესაბამება ორი ფუნქციის ხვეულს:

$$x_d(t) = \int_0^{\infty} f_1(t - \tau) f_2(\tau) d\tau$$

სადაც

$$f_1(t - \tau) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} \delta(t - \tau - nT) w_H(t - \tau)$$

$$f_2(\tau) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} \delta(\tau - nT) \varepsilon(\tau).$$

ლაპლასის გარდაქმნის ცნობილი თვისების შესაბამისად, ფუნქცია - ორიგინალის ხვეულის გამოსახულება ლაპლასის მიხედვით ტოლია საწყისი დროის ფუნქციების  $f_1(t)$  და  $f_2(t)$  - ს ლაპლასის გამოსახულების წარმოებულის:

$$L\{x_d(t)\} = F_1(s) \cdot F_2(s).$$

სადაც  $F_1(s) = L\{f_1(t)\}$ ;  $F_2(s) = L\{f_2(t)\}$

რამდენადაც არგუმენტი  $\tau$  შეიძლება განხილული იქნას დროის დისკრეტულ მომენტებში  $\tau = nT$ , ფუნქციები  $f_1(t - \tau)$  და  $f_2(\tau)$  დისკრეტულია დროში. ამ შემთხვევაში გამოსახულებები  $F_1(s)$  და  $F_2(s)$  შეიძლება მივიღოთ როგორც ლაპლასის დისკრეტული გარდაქმნები. ფიქტური დამკვანტავის გამოსახულება დისკრეტული სიგნალის ლაპლასური გარდაქმნის გამოსახულება აღვნიშნოთ  $X^*(s)$  ამავე დროს:

$$L\{x_d(t)\} = D\{x(nT)\} = X^*(s)$$

$f_2(\tau)$  ფუნქციის დისკრეტული ლაპლასური გარდაქმნა აღვნიშნოთ  $E^*(s)$ , შედეგად მართებულია ტოლობა:

$$F_2^*(s) = E^*(s) = \sum_{n=0}^{\infty} \varepsilon(nT) \cdot e^{-snT}$$

აქ აჯამვის ქვედა ინდექსი  $n = 0$  რადგანაც ფუნქცია - ორიგინალის თვისების შესაბამისად  $\varepsilon(nT) = 0$  როდესაც  $n < 0$ .

$D$  გარდაქმნის სისტემის წონითი ფუნქციის  $w_H(t)$   $t = nT$  დისკრეტული მნიშვნელობების მიმდევრობას მივყავართ ტოლობამდე:

$$F_1^*(s) = W_H^*(s) = \sum_{n=0}^{\infty} w_H(nT) \cdot e^{-snT}.$$

ამ ფორმულაში აჯამვის ქვედა ინდექსი ასევე ტოლია ნულის, რამდენადაც წონითი ფუნქციის განსაზღვრებიდან გამომდინარე,  $n < 0$   $w_H(nT) \equiv 0$ .

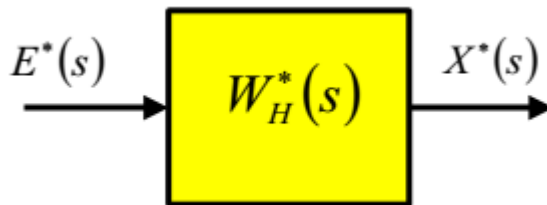
ცნობილია ლაპლასის დისკრეტული გარდაქმნის თვისება, რომლის შესაბამისადაც ფუნქცია - ორიგინალების ხვეული შეესაბამება იმ გამოსახულების წარმოებულს, რომელიც მიღებულია ყოველი საწყისი მესერული ფუნქციის ლაპლასის დისკრეტული გარდაქმნის შედეგად, ამიტომ გვექნება:

$$X^*(s) = F_1^*(s) \cdot F_2^*(s) = W_H^*(s)E^*(s)$$

ამიტომ განხილული ღია იმპულსური სისტემის დისკრეტული გადამცემი ფუნქცია დაემთხვევა ამ სისტემის უწყვეტი ნაწილის დაყვანილ გადამცემ ფუნქციას:

$$W_H^*(s) = \frac{X^*(s)}{E^*(s)}$$

მიღებული დისკრეტული გადამცემი ფუნქციის გამოყენებისას ღია იმპულსური სისტემის სტრუქტურა შეიძლება წარმოდგენილი იქნას კომპაქტური ფორმით:



ნახ. 11.8 ღია იმპულსური სისტემის სტრუქტურული გამოსახულება

დისკრეტული  $W_H^*(s)$  გადამცემი ფუნქციის გამოყენებით

ამრიგად, კავშირი :შესასვლელგამოსასვლელი ღია იმპულსური სისტემის, რომელიც შედგება დისკრეტული და უწყვეტი ელემენტებისაგან, შეიძლება მიღებული იქნას დისკრეტული გადამცემი ფუნქციის სახით, იმ შემთხვევაში, თუ უარს ვიტყვით, განვიხილოთ გამომავალი სიგნალი, როგორც უწყვეტი, ფიქტური იდეალური დამკვანტავის შეტანით და ლაპლასის დისკრეტული გარდაქმნის გამოყენებით.

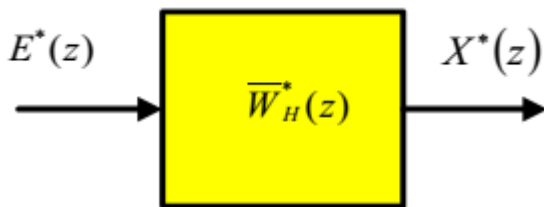
კომპლექსურ  $z = e^{Ts}$  ცვლადზე გადასვლით მივიღებთ დისკრეტულ გადამცემ ფუნქციას, რომლის უწყვეტი ნაწილი დაყვანილი იქნება შემდეგი სახით:

$$\overline{W}_H^*(z) = \frac{X^*(z)}{E^*(z)} = F_1^*(z) = \sum_{n=0}^{\infty} w_H(nT)z^{-n}$$

$\overline{W}_H^*(z)$  - ის გამოყენებისას გახსნილი სისტემის სტრუქტურული გამოსახულება მარტივდება (ნახ. 7.9).

$Z$  - უკუგარდაქმნის დახმარებით განისაზღვრება მესერული ფუნქცია  $x(nT)$ , რომელიც შეესაბამება  $Z$  - გამოსახულებას  $X^*(z) = \overline{W}_H^*(z) \cdot E^*(z)$  რეაქციას ღია იმპულსური სისტემის შესასვლელზე ზემოქმედებისას, რომელსაც აქვს გამოსახულება  $E^*(z)$ :

$$x(nT) = Z^{-1}[\overline{W}_H^*(z) \cdot E^*(z)]$$



ნახ. 11.9. ღია იმპულსური სისტემის გამოსახულება გადამცემი  $W_H^*(s)$  დისკრეტული ფუნქციის გამოყენებისას

მნიშვნელოვანია აღვნიშნოთ, რომ იმპულსური სისტემის გამომავალი სიგნალი  $x(t)$  არის უწყვეტი, მაგრამ დისკრეტული გადამცემი  $\overline{W}_H^*(z)$  ფუნქცია საშუალებას გვაძლევს, განვსაზღვროთ მისი მნიშვნელობები მხოლოდ დაკვანტვის  $t = nT$  მომენტში, რადგან მას არ გააჩნია ინფორმაცია  $x(t)$  ფუნქციის დროს სხვა მომენტში.

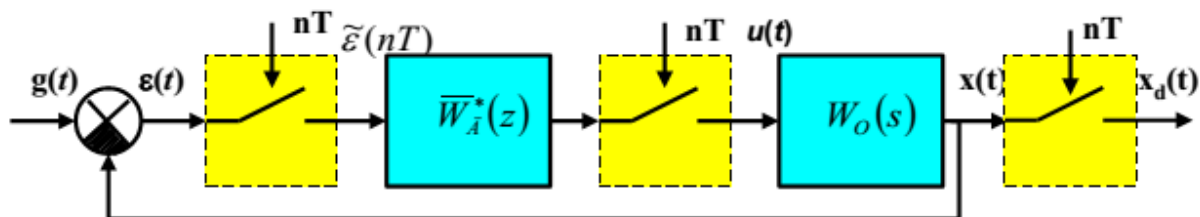


11. 4. ღია სისტემის იმპულსური დისკრეტული გადამცემი ფუნქცია მმართველი კომპიუტერის მუშაობის ალგორითმის გათვალისწინებით

დისკრეტული მმართველი ზემოქმედება  $u(nT)$  ფორმირდება მმართველი კომპიუტერის გამოსასვლელზე, როგორც განთანხმების  $\tilde{\varepsilon}(nT)$  მნიშვნელობების დროში დისკრეტული გარდაქმნის შედეგი კომპიუტერის მიერ რეალიზებული მართვის ალგორითმის შესაბამისად. ამ ალგორითმის შესაბამისი გამოთვლები შეიძლება აღწერილი იქნას სხვაობითი ტოლობების დახმარებით, რომლის საფუძველზე ფორმირდება კომპიუტერული მართვის დისკრეტული ნაწილის დისკრეტული გადამცემი ფუნქცია  $\bar{W}_A^*(z)$ :

$$\bar{W}_A^*(z) = \frac{U^*(z)}{E^*(z)}$$

ასეთი იმპულსური სისტემის მათემატიკური მოდელის სტრუქტურულ სქემას გამოსასვლელზე ფიქტური დამკვანტავით აქვს შემდეგი სახე:



ნახ. 11. 10. ასეთი იმპულსური სისტემის მათემატიკური მოდელის სტრუქტურის სქემა ფაქტური დაკვანტვით.

იმპულსური სისტემის დაყვანილი უწყვეტი ნაწილი, რომელიც შეიცავს მართვის უწყვეტ ობიექტს გადამცემი ფუნქციით  $W_O(s)$ , ხასიათდება დისკრეტული გადამცემი ფუნქციით

$$\bar{W}_H^*(z) = \frac{X^*(z)}{U^*(z)}$$

ამასთანავე:

$$X^*(z) = Z\{x_d(nT)\}$$

ზემოთ მოყვანილი ტოლობებიდან, რომლებიც ჩაწერილია დისკრეტული

გადამცემი ფუნქციების  $\bar{W}_A^*(z)$  და  $\bar{W}_H^*(z)$  განსაზღვრის საფუძველზე, ვიღებთ ალგებრულ განტოლებებს:

$$X^*(z) = \overline{W}_H^*(z) \cdot U^*(z);$$

$$U^*(z) = \overline{W}_D^*(z) \cdot E^*(z).$$

მათგან გამომდინარეობს, რომ

$$X^*(z) = \overline{W}_H^*(z) \overline{W}_D^*(z) E^*(z)$$

ან უფრო კომპაქტური ფორმით:

$$X^*(z) = \overline{W}^*(z) \cdot E^*(z).$$

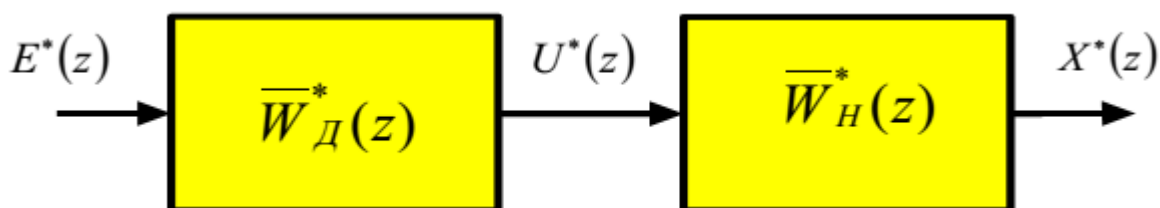
$$\overline{W}^*(z) = \frac{X^*(z)}{E^*(z)}$$

აქ

- ღია იმპულსური სისტემის დისკრეტული გადამცემი ფუნქციაა, რომელიც შეიცავს უწყვეტ ნაწილს და მმართველ კომპიუტერს და ახორციელებს კომპიუტერული მართვისათვის საჭირო ალგორითმის რეალიზაციას. ნათელია, რომ ეს დისკრეტული გადამცემი ფუნქცია განისაზღვრება

$$\overline{W}^*(z) = \overline{W}_H^*(z) \overline{W}_D^*(z).$$

მმართველი კომპიუტერისთვის და მართვის უწყვეტი ობიექტისთვის შესაბამისი გადამცემის ფუნქციების შემოტანა ნულოვანი რიგის ექსტრაპოლაციით, საშუალება მოგვცა მიგველო ღია იმპულსური სისტემის სტრუქტურულ წარმოდგენაზე, რომლის სახეც გვახსენებს ღია უწყვეტი სისტემის სტრუქტურულ განხილვას.



ნახ. 11. 11. ღია იმპულსური სისტემის სტრუქტურული წარმოდგენა

მიღებული აღწერა - ეს არის „შესვლა - გამოსვლა“ ტიპის იმპულსური სისტემის მოდელი. არ ღირს იმის დავიწყება, რომ ის ახასიათებს სისტემის ქცევას მხოლოდ დროის დისკრეტულ მომენტებს, თუმცა რეალური იმპულსური სისტემის გამომავალი

ცვლადი იცვლება უწყვეტად იმის გამო, რომ მართვის ობიექტს აქვს ინერციული პროცესები.

უნდა აღინიშნოს იმპულსური სისტემის მნიშვნელოვანი თვისება. თუ სისტემის ნაწილები განცალკევებულია დროით დამკვანტავებით, მაშინ წრედის დისკრეტული გადამცემი ფუნქცია, რომელიც შედგენილია ამ ნაწილებისაგან, განისაზღვრება როგორც ამ ნაწილების დისკრეტული გადამცემი ფუნქციების წარმოებულ, მაგალითად, წრედის შემადგენლობა შეიცავს სამ უწყვეტ ობიექტს გადამცემი ფუნქციებით  $W_1(s)$ ,  $W_2(s)$ ,  $W_3(s)$ , რომლებიც განცალკევებულია დამკვანტავით დროის მიხედვით, მაშინ ასეთი წრედის რეალიზებული დისკრეტული გადამცემი ფუნქცია განისაზღვრება:

$$\bar{W}^*(z) = \bar{W}_1^*(z) \cdot \bar{W}_2^*(z) \cdot \bar{W}_3^*(z)$$

სადაც  $\bar{W}_1^*(z)$ ,  $\bar{W}_2^*(z)$ ,  $\bar{W}_3^*(z)$  - უწყვეტი ნაწილების დისკრეტული გადამცემი ფუნქციებია, რომლებსაც შეიცავენ ზემოთ ნახსენები უწყვეტი ობიექტები.

თუ იმპულსური სისტემის, რომელიმე წრედში შემავალი ნაწილები არ არიან გაყოფილი დამკვანტავებით, მაშინ ასეთი წრედის შედეგობრივი გადამცემი ფუნქცია არ არის ტოლი მისი ნაწილების დისკრეტული გადამცემი ფუნქციების წარმოებულისა. მაგალითად, თუ წრედის შემადგენლობაში ორი უწყვეტი ობიექტია გადამცემი ფუნქციებით  $W_1(s)$  და  $W_2(s)$  რომლებიც არ არიან გაყოფილი დამკვანტავებით, მაშინ შედეგობრივი გადამცემი ფუნქცია:

$$\bar{W}^*(z) \neq \bar{W}_1^*(z) \cdot \bar{W}_2^*(z)$$

სადაც  $\bar{W}_1^*(z)$  და  $\bar{W}_2^*(z)$  - უწყვეტი ნაწილების დისკრეტული გადამცემი ფუნქციებია, რომლებსაც შესაბამისად აქვთ გადამცემი ფუნქციები  $W_1(s)$  და  $W_2(s)$ . ამ შემთხვევაში  $\bar{W}^*(z)$  უნდა განვსაზღვროთ უშუალოდ წრედის სრული გადამცემი ფუნქციის მიხედვით, რომელიც შედგება ელემენტებისაგან და ტოლია  $W_1(s) \cdot W_2(s)$ , - ის წარმოებულის და ამ შემთხვევაში უნდა გამოვიყენოთ ზემოთ მოყვანილი მიდგომა.

**11. 5. ჩაკეტილი იმპულსური სისტემის დისკრეტული გადამცემი ფუნქციები** განვიხილოთ იმპულსური სისტემა მთავარი ერთეულოვანი უარყოფითი უკუკავშირით. მმართველი კომპიუტერი ხასიათდება დისკრეტული გადამცემი ფუნქციით  $\bar{W}_H^*(z)$  - დაყვანილი უწყვეტი ნაწილი - დისკრეტული გადამცემი ფუნქციით  $\bar{W}_H^*(z)$ , როგორც

ზემოთ არის ნაჩვენები, ღია (გახსნილი) სისტემის გადამცემი ფუნქცია განისაზღვრება ფორმულით:

$$\bar{W}^*(z) = \bar{W}_D^*(z) \cdot \bar{W}_H^*(z).$$

მაშინ გამომავალი ფუნქციის გამოსახულება დროის დისკრეტულ მომენტებში გამოითვლება განტოლების საფუძველზე:

$$X^*(z) = \bar{W}^*(z) \cdot E^*(z) \quad (7-1)$$

სადაც  $E^*(z)$  სისტემის ცდომილების გამოსახულებაა:

$$\varepsilon(nT) = \varepsilon(t)|_{t=nT} = g(t)|_{t=nT} - x(t)|_{t=nT}$$

უკანასკნელ ტოლობაში  $g(t)|_{t=nT}$  და  $x(t)|_{t=nT}$ , მოცემული ზემოქმედებაა და შესაბამისად იმპულსური სისტემის სარეგულირებელი ცვლადია. ამრიგად, მართებულია ტოლობა:

$$E^*(z) = G^*(z) - X^*(z)$$

შედეგად (7-1)-დან ვიღებთ:

$$X^*(z) = \bar{W}^*(z) \cdot G^*(z) - \bar{W}^*(z) \cdot X^*(z)$$

და აქედან გამომდინარე:

$$[1 + \bar{W}^*(z)] \cdot X^*(z) = \bar{W}^*(z) \cdot G^*(z)$$

მარტივი გარდაქმნის შედეგად მივიღებთ:

$$X^*(z) = \frac{\bar{W}^*(z)}{1 + \bar{W}^*(z)} \cdot G^*(z) = \bar{\Phi}^*(z) \cdot G^*(z)$$

აქ

$$\bar{\Phi}^*(z) = \frac{\bar{W}^*(z)}{1 + \bar{W}^*(z)} \quad (11-2)$$

ჩაკეტილი იმპულსური სისტემის დისკრეტული გადამცემი, ფუნქციაა გამომავალი ცვლადის მიხედვით. იგი განისაზღვრება იმ შემთხვევისათვის, როდესაც განიხილება მოცემული ზემოქმედების გავლენა სისტემის სარეგულირებელ ცვლადზე.

გამოსახვის  $X^*(z) = G^*(z) - E^*(z)$  შედეგად (11-1) ტოლობის საშუალებით შეიძლება ჩაკეტილი იმპულსური სისტემის გადამცემი ფუნქციის პოვნა ცდომილების მიხედვით. ამისათვის განვიხილოთ ფარდობა:

$$G^*(z) - E^*(z) = \bar{W}^*(z) \cdot E^*(z)$$

რომლიდანაც გამომდინარეობს:

$$G^*(z) = [1 + \bar{W}^*(z)] \cdot E^*(z)$$

აღვნიშნოთ:

$$\bar{\Phi}_e^*(z) = \frac{E^*(z)}{G^*(z)}$$

რომელიც შეესაბამება ტოლობას:

$$E^*(z) = \bar{\Phi}_e^*(z) \cdot G^*(z) \tag{11-3}$$

გადამცემი ფუნქციები  $\bar{W}^*(z)$ ,  $\bar{\Phi}^*(z)$ ,  $\bar{\Phi}_e^*(z)$

შეიძლება გამოყენებული იქნას მდგრადობის და გარდამავალი პროცესების სიზუსტისა და ხარისხის შესაფასებლად, აგრეთვე სასურველი დინამიკური თვისებების მქონე იმპულსური სისტემების აღსაწერად, ამ სისტემების კომპიუტერული მართვის საშუალებების სინთეზისას.

### 11.6. იმპულსური სისტემის უწყვეტი დაყვანილი ნაწილების დისკრეტული გადამცემი ფუნქციების განსაზღვრის პრაქტიკული საშუალებები

როგორც ზემოთ იყო ნაჩვენები, ღია იმპულსური სისტემის, დისკრეტული გადამცემი ფუნქცია (გფ) დამოკიდებულია უწყვეტი მართვის ობიექტის დინამიკურ თვისებებზე, რომლებიც შედის ამ სისტემის დაყვანილ უწყვეტ ნაწილში. აქ ლაპარაკია პრაქტიკაში გამოყენებულ დისკრეტული გფ  $\bar{W}_H^*(z)$  განსაზღვრის საშუალებებზე, დაყვანილი უწყვეტი ნაწილის გფ-ის მიხედვით, მართვის უწყვეტი  $W_o(s)$  ობიექტისათვის.

### პირველი საშუალება

მოვახდინოთ იმპულსური სისტემის დაყვანილი უწყვეტი ნაწილის გგ - ის ფორმირება:

$$W_H(s) = W_\phi(s)W_0(s)$$

სადაც  $W_0(s)$  - მართვის ობიექტი გადაცემის ფუნქცია. ხოლო  $W_\phi(s)$  - მაფორმირებელი ელემენტის გადაცემის ფუნქციაა.

2. განვსაზღვროთ სისტემის დაყვანილი უწყვეტი ნაწილის წონითი ფუნქცია:

$$w_H(t) = L^{-1}\{W_H(s)\}$$

3. მოვახდინოთ  $w_H(t)$  - ს  $Z$  - გარდაქმნა და ამგვარად ვიპოვოთ დაყვანილი უწყვეტი ნაწილის გგ:

$$\overline{W}_H^*(z) = Z\{w_H(t)|_{t=nT}\} = \sum_{n=0}^{\infty} w_H(nT) \cdot z^{-n}.$$

### მეორე საშუალება

მეორე საშუალება წარმოადგენს პირველი საშუალების მოდიფიკაციას. ამ დროს გაითვალისწინება მაფორმირებელი ელემენტის გგ - ის თავისებურება. შევასრულოთ სისტემის დაყვანილი უწყვეტი ნაწილის გადაცემის  $W_H(s)$  ფუნქციის გარდაქმნა, წარმოვიდგინოთ იგი როგორც ორი შემადგენლის ჯამი:

$$W_H(s) = \frac{1 - e^{-Ts}}{s} W_0(s) = \frac{W_0(s)}{s} - e^{-Ts} \frac{W_0(s)}{s}.$$

გადაცემის  $W_H(s)$  ფუნქციის ლაპლასის უკუ გარდაქმნა, საშუალებას მოგვცემს, მივიღოთ დაყვანილი უწყვეტი ნაწილის წონითი ფუნქცია, რომელიც ასევე შეიძლება წარმოდგენილი იქნას ორი შემადგენლის ჯამის სახით ლაპლასის წრფივი გარდაქმნის თვისების საფუძველზე

$$w_H(t) = L^{-1}\{W_H(s)\} = L^{-1}\left[\frac{W_0(s)}{s}\right] - L^{-1}\left[e^{-Ts} \frac{W_0(s)}{s}\right]$$

პირველი კომპონენტი წარმოადგენს მართვის ობიექტის გარდამავალ ფუნქციას:

$$L^{-1}\left\{\frac{W_0(s)}{s}\right\} = h_0(t)$$

რაც წარმოადგენს მართვის ობიექტის რეაქციას შემავალ ზემოქმედებაზე, რომელსაც აქვს ერთეულოვანი საფეხურებრივი ფუნქციის სახე  $1(t)$ . ამაში ჩვენ ადვილად დავრწმუნდებით, თუ გავითვალისწინებთ  $s$  ცვლადის არსებობას გამოსახულების მნიშვნელში, რომელზეც ხორციელდება ლაპლასის უკუგარდაქმნა, ამოწმებს ინტეგრირების არსებობას. ამრიგად, კომბინირებული ობიექტის რეაქცია, რომელსაც

$$\frac{W_0(s)}{s}$$

აქვს გვ  $s$ ,  $\delta$  - ფუნქციის სახით ზემოქმედებაზე ემთხვევა სისტემის მართვის ობიექტის რეაქციას, რომლის გვ არის  $W_0(s)$ ,  $1(t)$  - ზემოქმედებისას, რომელიც მიიღება  $\delta(t)$  ფუნქციის ინტეგრირებით დროის მიხედვით.

ლაპლასის გარდაქმნის ცნობილი თვისების შესაბამისად გამრავლება ექსპონანტზე  $e^{-sT}$  გაამოსახულება შეესაბამება ფუნქცია - ორიგინალის ძვრას დროის სივრცეში  $T$ , სიდიდით. ამიტომ მეორე კომპონენტი:

$$L^{-1}\left\{e^{-sT} \frac{W_0(s)}{s}\right\} = h_0(t - T)$$

ეს არის მართვის ობიექტის ფუნქცია შეჩერებული ერთი ტაქტით. შედეგად ვიღებთ:

$$w_H(t) = L^{-1}\{W_H(s)\} = h_0(t) - h_0(t - T)$$

ამ ორი შემადგენლის  $Z$  - გარდაქმნის შესრულებისას დისკრეტული გვ ფუნქციის მისაღებად, გავითვალისწინოთ, რომ ძვრას  $T$  - თი დროის სივრცეში, შეესაბამება გამრავლება  $z^{-1}$  - ზე გამოსახულების სივრცეში.

ამიტომ:

$$\overline{W}_H^*(z) = Z\{w_H(t)|_{t=nT}\} = \sum_{n=0}^{\infty} w_H(nT) \cdot z^{-n} = (1 - z^{-1})F_0(z),$$

სადაც

$$F_0(z) = Z\{h_0(t)|_{t=nT}\} = \sum_{n=0}^{\infty} h_0(nT) \cdot z^{-n}$$

ამრიგად:

$$\overline{W}_H^*(z) = (1 - z^{-1})Z\{h_0(t)|_{t=nT}\} = (1 - z^{-1}) \cdot Z\left\{L^{-1}\left(\frac{W_0(s)}{s}\right)\right\}$$

აქედან გამომდინარეობს, უფრო გავრცელებული საშუალება:

1. განისაზღვროს მართვის ობიექტის  $h_0(t)$  გარდამავალი ფუნქცია, კომბინირებული ელემენტისათვის ლაპლასის უკუგარდაქმნის შესრულებით,

$$\text{რომელსაც აქვს გფ } \frac{W_0(s)}{s} .$$

2. შევასრულოთ  $h_0(t)|_{t=nT}$  ფუნქციის დისკრეტიზაცია დროის მიხედვით და განვახორციელოთ  $Z$  - გარდაქმნა მართვის ობიექტის გარდამავალი ფუნქციისა:

$$F_0^*(z) = Z\{h_0(nT)\} = \sum_{n=0}^{\infty} h_0(nT) \cdot z^{-n} .$$

3. შევასრულოთ გამრავლება  $(1 - z^{-1})$  - ზე. ამგვარად, განისაზღვრება გახსნილი სისტემის დაყვანილი უწყვეტი ნაწილის გფ, რომელიც შეიცავს მართვის ობიექტის უწყვეტ ნაწილს და ნულოვანი ხარისხის ექსტრაპოლატორს:

$$\overline{W}_H^*(z) = (1 - z^{-1})F_0^*(z) = (1 - z^{-1}) \sum_{n=0}^{\infty} h_0(nT) \cdot z^{-n}$$

### მესამე საშუალება

მესამე საშუალება დაფუძნებულია ფუნქცია - ორიგინალის

$f(t)$  შესაბამისობის მის გამოსახულებებთან  $F(s)$  და  $F^*(z)$  ცხრილის გამოყენებით, რომელიც მიღებულია ლაპლასის გარდაქმნის და ლაპლასის დისკრეტული გარდაქმნის მეშვეობით. მაგალითად, შეიძლება გამოვიყენოთ ცხრილი 6-1, რომელიც მოყვანილია №6 ლექციაში. მესამე საშუალების შესაბამისად სრულდება გარდაქმნის სამი ეტაპი:

- ა) უწყვეტი მართვის ობიექტის გფ  $W_0(s)$  - ით ფორმირდება გამოსახულება  $F(s)$ ,

$$\frac{W_0(s)}{s}$$

რომელიც ემთხვევა კომბინირებული ობიექტის გფ

- ბ) შესაბამისობის ცხრილის მიხედვით ვპოულობთ ფუნქცია - ორიგინალს  $f(t)$  - ს,

რომელიც შეესაბამება ფორმირებულ გამოსახულებას  $F(s)$ . ეს ფუნქცია ამავდროულად წარმოადგენს გარდამავალ ფუნქციასაც იმპულსური მართვის სისტემის ობიექტისას ანუ



$h_0(t) = f(t)$  ნაპოვნ გარდამავალ ფუნქციას  $h_0(t)$  - ს შეესაბამება  $Z$  - გამოსახულება  $F_0^*(z)$  ცხრილის იმავე სტრიქონში. ამიტომ თუ არ არის აუცილებელი ვიცოდეთ ფუნქცია - ორიგინალი, მაშინ ფუნქცია  $F_0^*(z)$  შეიძლება ვიპოვოთ უშუალოდ მოცემული  $F(s)$  ფუნქციით.

გ)  $F_0^*(z)$  ფუნქციის  $(1 - z^{-1})$  - ზე გამრავლების შედეგად ვიღებთ იმპულსური სისტემის დაყვანილი უწყვეტი ნაწილის გვ - ს  $\overline{W}_H^*(z)$ . შესაბამისობის ცხრილით

სარგებლობისათვის ფუნქცია - ორიგინალებს და მათ გამოსახულებებს  $\frac{W_0(s)}{s}$  შლიან ელემენტარულ შემადგენლებად. თითოეული მათგანისათვის მეორე სვეტში პოულობენ გამოსახულებას, რომელიც ემთხვევა სახით ამ შემადგენელს ან განსხვავდება მხოლოდ მუდმივი მამრავლით. მაშინ მესამე სვეტში იმავე სტრიქონზე განისაზღვრება შესაბამისი კომპონენტი დისკრეტული გვ - ის. წრფივობის თვისებაზე დაყრდნობით საძებნი დისკრეტული გვ დაყვანილი უწყვეტი ნაწილის განისაზღვრება როგორც ჯამი ყველა ნაპოვნი კომპონენტისა.

### მეოთხე საშუალება

მეოთხე საშუალება გვადლევს შესაძლებლობას, განვსაზღვროთ გვ უშუალოდ უწყვეტი მართვის ობიექტის  $W_0(s)$  - ის. გვ - ის გამოსახულებიდან ნაშთების გამოყენებით. ამისათვის საჭიროა შევასრულოთ შემდეგი მოქმედებები.

1. უწყვეტი მართვის ობიექტის  $W_0(s)$  ცნობილი გვ - ის საფუძველზე უნდა

მოვახდინოთ კომბინირებული ობიექტის  $F_0(s) = \frac{W_0(s)}{s}$  - ის გვ - ის ფორმირება, გამოვთვალოთ ნაშთების საშუალებით  $Z$  გამოსახულება გარდამავალი ფუნქციის

$$\overline{F}_0^*(z) = Z\{h_0(nT)\} = \sum_{v=1}^m \operatorname{Res} \left\{ F_0(s) \frac{z}{z - a^{sT}} \right\}_{s=s_v}$$

სადაც  $s_v - F_0(s)$ ;  $(v = 1, \dots, m)$  ფუნქცია პოლუსებია.

2.

3. გავამრავლოთ ნაპოვნი ფუნქცია  $\overline{F}_0^*(z)$ ;  $(1 - z^{-1}) = \frac{z-1}{z}$  - ზე შედეგად წარმოიქმნება დისკრეტული გვ დაყვანილი უწყვეტი ნაწილის  $W_H(z)$ .

### 11.7. მაგალითები იმპულსური ნაწილის დაყვანილი უწყვეტი ნაწილების დისკრეტული გადაცემის ფუნქციების განსაზღვრის

#### მაგალითი 1

დავუშვათ, რომ იმპულსური სისტემის შემადგენლობაში შემავალი მართვის უწყვეტი ობიექტის გადაცემი ფუნქცია აქვს შემდეგი სახე:

$$W_0(s) = \frac{k}{\tau s + 1}$$

სადაც  $k$  და  $\tau$  - შესაბამისი ობიექტის გადაცემის კოეფიციენტია და დროის მუდმივა შესაბამისად. მოვახდინოთ კომბინირებული ობიექტის გვ - ის ფორმირება

$$F_0(s) = \frac{W_0(s)}{s} = \frac{k}{s(\tau s + 1)}$$

განვსაზღვროთ დაყვანილი უწყვეტი ნაწილის  $W_H^*(z)$  - ის გვ ნაშთების გამოყენებით.

$F_0(s)$  ფუნქციას აქვს ორი პოლუსი  $s_1 = 0$  და  $s_2 = -\frac{1}{\tau}$ , ამიტომ შეგვიძლია ჩავწეროთ:

$$\overline{F}_0^*(z) = \operatorname{Res} \left\{ \frac{k}{s(\tau s + 1)} \cdot \frac{z}{z - e^{sT}} \right\}_{s=0} + \operatorname{Res} \left\{ \frac{k}{\tau(s + 1/\tau)} \cdot \frac{z}{z - e^{sT}} \right\}_{s=-\frac{1}{\tau}}$$

აქედან გვაქვს:

$$\begin{aligned} \overline{F}_0^*(z) &= \lim_{s \rightarrow 0} \left\{ \frac{k(s-0)}{s(\tau s + 1)} \cdot \frac{z}{z - e^{sT}} \right\} + \lim_{s \rightarrow -\frac{1}{\tau}} \left\{ \frac{k(s + 1/\tau)}{\tau(s + 1/\tau)} \cdot \frac{z}{z - e^{sT}} \right\}, \\ \overline{F}_0^*(z) &= \frac{kz}{z-1} - \frac{kz}{z - e^{-T/\tau}} = \frac{kz(z - e^{-T/\tau}) - kz(z-1)}{(z-1)(z - e^{-T/\tau})} = \frac{kz(1 - e^{-T/\tau})}{(z-1)(z - e^{-T/\tau})}. \end{aligned}$$

გავამრავლოთ მიღებული შედეგი  $(1 - z^{-1}) = \frac{z-1}{z}$ ; საბოლოოდ მივიღებთ დაყვანილი უწყვეტი ნაწილის დისკრეტულ გადამცემ ფუნქციას:

$$W_H^*(z) = \frac{z-1}{z} F_0(z) = \frac{k(1 - e^{-T/\tau})}{(z - e^{-T/\tau})}$$

## მაგალითი 2

განვსაზღვროთ გახსნილი სისტემის დისკრეტული გვ, რომლის უწყვეტ მართვის ობიექტს აქვს შემდეგი სახის გვ:

$$W_0(s) = \frac{k_0}{s(s+a)} = \frac{k_1}{s(T_1s+1)},$$

სადაც  $k_1 = \frac{k_0}{a}$  და  $T_1 = \frac{1}{a}$  - გამლიერების კოეფიციენტი და დროის მოდმივაა მართვის ობიექტის შესაბამისად. დაყვანილი უწყვეტი ნაწილის დისკრეტულის განსასაზღვრავად:

$$\overline{W}_H^*(z) = (1 - z^{-1}) Z \left\{ L^{-1} \left( \frac{k_0}{s^2(s+a)} \right) \right\}$$

გამოვიყენოთ მესამე (ცხრილური) საშუალება. განვსაზღვროთ ფუნქცია - ორიგინალი

$h(t)$ , მისი შესაბამისი გვ  $\frac{k_0}{s^2(s+a)}$ , რომელიც უნდა დავშალოთ ორ შემადგენელ ნაწილად:

$$\frac{k_0}{s^2(s+a)} = \frac{A}{s^2} + \frac{B}{s(s+a)} = \frac{A(s+a) + Bs}{s^2(s+a)} = \frac{As + Bs + Aa}{s^2(s+a)},$$

სადაც  $A$  და  $B$  - უცნობი პარამეტრებია, რომლებიც ექვემდებარება განსაზღვრას. მრიცხველის გამოსახულების ანალიზის საწყისისა და გარდასახულის გადამცემ ფუნქციაში გვიჩვენებს, რომ მართებულა შემდეგი ტოლობები, რომლებიც აკავშირებს ერთმანეთთან ცნობილ და უცნობ პარამეტრებს:

$$A = -B ; \quad Aa = k_0.$$

ამრიგად გვაქვს:

$$A = \frac{k_0}{a}; \quad B = -\frac{k_0}{a} \quad \text{ან} \quad A = k_1; \quad B = -k_1$$

(10-1) ცხრილის ორიგინალების და გამოსახულების შესაბამისობის მიხედვით

ვპოულობთ, რომ გამოსახულებას  $\frac{A}{s^2} = \frac{k_0/a}{s^2}$  შეესაბამება ფუნქცია - ორიგინალი  $\frac{k_0}{a}t = k_1t$ , ხოლო გამოსახულებას:

$$\frac{B}{s(s+a)} = -\frac{k_0/a}{s(s+a)}$$

შეესაბამება ფუნქცია - ორიგინალი:

$$-\frac{k_0}{a^2}(1 - e^{-at}) = -k_1T_1(1 - e^{-\frac{t}{T_1}})$$

ამრიგად, მართვის ობიექტის გარდამავალი ფუნქციისათვის ვიღებთ შემდეგ ტოლობას

$$h(t) = \frac{k_0}{a}t - \frac{k_0}{a^2}(1 - e^{-at}).$$

თითოეული  $h(t)$  შემადგენლისათვის 6-1 ცხრილის მიხედვით, ვპოულობთ  $Z$  -

გამოსახულებას.  $\frac{k_0}{a}t$  შემადგენლისათვის გვაქვს  $Z$  გამოსახულება:

$$\frac{k_0}{a} \cdot \frac{Tz}{(z-1)^2} = k_1 \frac{Tz}{(z-1)^2}$$

ხოლო შემადგენლისათვის:  $-\frac{k_0}{a^2}(1 - e^{-at}) - Z$  გამოსახულება:

$$\frac{-k_0z(1 - e^{-aT})}{a^2(z-1)(z - e^{-aT})} = -k_1T_1 \cdot \frac{z}{(z-1)} \cdot \frac{(1 - e^{-T/T_1})}{(z - e^{-T/T_1})}$$

$$1 - z^{-1} = \frac{z-1}{z}$$

თუ გავამრავლებთ  $z$  - ზე და შევკრებთ ორივე შემადგენელს, მივიღებთ იმპულსური სისტემის დაყვანილი უწყვეტი ნაწილის გფ-ს:

$$\overline{W}_H^*(z) = \frac{k_0 T}{a(z-1)} - \frac{k_0(1-e^{-aT})}{a^2(z-e^{-aT})} = k_1 \frac{T}{z-1} - k_1 T_1 \frac{(1-e^{-T/T_1})}{(z-e^{-T/T_1})}$$

**შენიშვნა:** ამ მაგალითით შეიძლება მოვახდინოთ  $Z$  გარდაქმნის მნიშვნელოვანი და სასარგებლო თვისებების ილუსტრაცია, რაც მდგომარეობს იმაში, რომ

$$\lim_{T \rightarrow 0} \overline{W}_H^*(z) = W_0(s) \quad (7-3)$$

(7-3) ტოლობიდან გამომდინარეობს, რომ ზღვარზე როდესაც მიისწრაფვის ნულისკენ დროით დაკვანტვის პერიოდი (როდესაც  $T \rightarrow 0$ ) იმპულსური სისტემის დაყვანილი უწყვეტი ნაწილის გადამცემი ფუნქცია ემთხვევა ამ სისტემის მართვის უწყვეტი ობიექტის გადამცემ ფუნქციას.

იმისათვის, რათა დავრწმუნდეთ ამ თვისების სამართლიანობაში, ზემოთ განხილულ მაგალითში  $e^{Ts} = z$  შევცვალოთ ამ ფუნქციის რიგად დაშლის პირველი ორი წევრით, ანუ ჩავთვალოთ რომ  $z = 1 + Ts$ . ანალოგიურად წარმოვადგინოთ  $e^{-aT} = 1 - aT$  და  $e^{-T/T_1} = 1 - T/T_1$ . ეს დასაშვებია, როდესაც  $T \rightarrow 0$ . მაშინ

$$\lim_{T \rightarrow 0} \overline{W}_H^*(z) = \lim_{T \rightarrow 0} \frac{k_0 T}{a(Ts + 1 - 1)} - \lim_{T \rightarrow 0} \frac{k_0(1 - 1 + aT)}{a^2(1 + sT - 1 + aT)}$$

გავხსნათ ზღვრები და მაშინ მივიღებთ შედეგს:

$$\lim_{T \rightarrow 0} \overline{W}_H^*(z) = \frac{k_0}{as} - \frac{k_0}{a(s+a)} = \frac{k_0}{s(s+a)} = W_0(s),$$

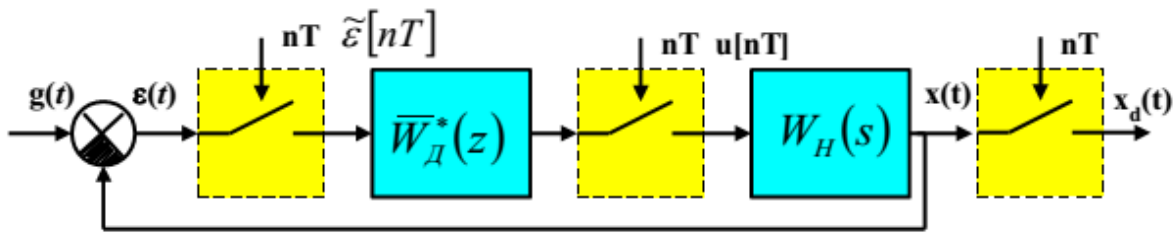
რომელიც მთლიანად ეთანხმება (11-3) ფორმულას.

ეს ნიშნავს იმ პირობისას, როდესაც  $T \rightarrow 0$ , დროში დაკვანტვის პროცესი არ ახდენს გავლენას იმპულსური სისტემის თვისებებზე და მისი დაყვანილი უწყვეტი იქცევა ისე როგორც მართვის უწყვეტი ობიექტი. შემდგომში იქნება ნაჩვენები, რომ საკმაოდ მცირე დაკვანტვის პერიოდის მნიშვნელობისა, მაგრამ საბოლოოდ სასრული მნიშვნელობის ( $T > 0$ ) იმპულსური სისტემის თვისებები ძალიან მიახლოებულია უწყვეტი სისტემის თვისებებთან. ეს შემდგომში მოგვცემს საშუალებას, ავირჩიოთ  $T$ -ს დასაშვები მნიშვნელობა, რომელიც დააკმაყოფილებს მოთხოვნებს შესაქმნელი იმპულსური სისტემის თვისებების სიახლოვისა მისი უწყვეტი ანალოგისა რასაც ექნება ჩვენთვის სასურველი თვისებები

**11.8 მაგალითი იმპულსური სისტემის აღწერისა შემსრულებელი მუდმივი დენის ძრავით**

საჭიროა განისაზღვროს დისკრეტული იმპულსური სისტემის გადამცემი ფუნქციები  $\bar{W}^*(z)$ ,  $\bar{\Phi}^*(z)$ ,  $\bar{\Phi}_\varepsilon^*(z)$ , რომელიც შედგება მმართველი კომპიუტერისაგან და უწყვეტი ნაწილისაგან, უწყვეტი ნაწილი შეიცავს მუდმივი დენის ძრავს (მდმ) (ნახ. 7-12).

უწყვეტ ნაწილს აქვს გადაცემის ფუნქცია  $W_o(s)$ , რომელიც ითვალისწინებს არა მარტო მდმ -ს თვისებებს, არამედ სიმძლავრის გამაძლიერებლის მდგომარეობის გადამწოდის და ცაგ-ის თვისებებსაც. კომპიუტერი უზრუნველყოფს პროპორციული რეგულატორის რეალიზაციას და ფუნქციონირებს დროის მიხედვით დაკვანტვის პერიოდის მიხედვით, რომელიც ტოლია  $T$  - სი. სისტემის დისკრეტული ნაწილის დისკრეტული გადამცემი ფუნქცია ტოლია მდგომარეობის რეგულატორი გაძლიერების კოეფიციენტის  $k_y$



ნახ. 11-12. იმპულსური სისტემის სტრუქტურული სქემა მდმ - თი

განვიხილოთ შემთხვევა, როდესაც ძრავის ელექტრომექანიკური მუდმივა  $T_M$ , მართვის მექანიკური ობიექტის თვისებების გათვალისწინებით მნიშვნელოვნად მეტია ლუზის წრედის ელექტრომაგნიტურ დროის მუდმივაზე. ამ დროს მიახლოებით შეიძლება ჩაითვალოს რომ სისტემის უწყვეტი ნაწილის (მართვის ობიექტი) გადამცემი ფუნქციას ექნება შემდეგი სახე:

$$W_o(s) = \frac{K_o}{s(T_1 s + 1)}$$

ამ დროს აპერიოდული რგოლის დროის მუდმივა  $T_1 \approx T_M$ . გადაცემის კოეფიციენტი  $K_o$  ითვალისწინებს მდგომარეობის ციფრული გადამწოდის ეკვივალენტურ გადაცემის კოეფიციენტს, ცაგ - ის ეკვივალენტურ გადაცემის კოეფიციენტს, მდმ-ს ელექტრომაძრავებელი ძალის კოეფიციენტს და სიმძლავრის გამაძლიერებლის კოეფიციენტს. სისტემის თვისებების ანალიზის ჩასატარებლად მოვახდინოთ დაყვანილი უწყვეტი ნაწილის გადაცემის ფუნქციის ფორმირება და

$$\frac{W_o(s)}{s}$$

გამოვყოთ მისი შემადგენელი  $\frac{1}{s}$ , დავშალოთ იგი ორ მდგენელად და განხილვაში შევიყვანოთ ორი პარამეტრი  $A$  და  $B$ .

$$\frac{W_o(s)}{s} = \frac{A}{s^2} + \frac{B}{s(T_1s+1)} = \frac{A(T_1s+1) + Bs}{s(T_1s+1)} = \frac{s(AT_1+B) + A}{s(T_1s+1)},$$

სადაც  $A = K_o$ ,  $B = -AT_1 = -K_oT_1$ .

ამრიგად, მივიღებთ:

$$\frac{W_o(s)}{s} = \frac{K_o}{s^2} + \frac{-K_o}{s(T_1s+1)}$$

თითოეული მდგენელისათვის, რომელიც მიღებულია დაშლის შედეგად 10-1 ფუნქცია - ორიგინალების და გამოსახულებების შესაბამისობის ცხრილით ვპოულობთ  $Z$  - გარდაქმნის შედეგებს:

$$Z\left\{L^{-1}\left(\frac{K_o}{s^2}\right)\right\} = K_o \frac{Tz}{(z-1)^2},$$

ვსაზღვრავთ სისტემის დაყვანილი უწყვეტი ნაწილის დისკრეტულ გადამცემ ფუნქციას:

$$\begin{aligned} \bar{W}_H^*(z) &= \frac{z-1}{z} \left\{ Z\left[ L^{-1}\left(\frac{W_o(s)}{s}\right) \right] \right\} = \\ &= \frac{z-1}{z} \left\{ K_o \frac{Tz}{(z-1)^2} - K_o T_1 \frac{z(1-e^{-T/T_1})}{(z-1) \cdot (z-e^{-T/T_1})} \right\} = \\ &= K_o \left\{ \frac{T}{(z-1)} - \frac{T_1(1-e^{-T/T_1})}{(z-e^{-T/T_1})} \right\}. \end{aligned}$$

სისტემის დისკრეტული ნაწილის დისკრეტული გადამცემი ფუნქცია ტოლია გაძლიერების კოეფიციენტის  $k_y$ , რომლის რეალიზაცია ხდება კომპიუტერის დახმარებით მდგომარეობის რეგულატორით, ამიტომ გახსნილი იმპულსური სისტემის დისკრეტულ გადამცემ ფუნქციას ექნება სახე:

$$\bar{W}^*(z) = K_y \cdot \bar{W}_H^*(z). \quad (6)$$

განხილვაში შემოვიტანოთ გახსნილი სისტემის გაძლიერების კოეფიციენტი  $K$ , რომელიც ტოლია  $k_y$  და  $K_o$  კოეფიციენტების ნამრავლის. დავიყვანოთ  $\bar{W}^*(z)$  ფუნქციის გამოსახულება საერთო მნიშვნელებზე, ამგვარად, ჩვენ მივიღებთ ღია იმპულსური სისტემის სტანდარტულ დისკრეტულ გადამცემ ფუნქციის ფორმას:

$$\bar{W}^*(z) = K \cdot \frac{T \left( z - e^{-T/T_1} \right) - T_1 (z-1) \cdot \left( 1 - e^{-T/T_1} \right)}{(z-1) \cdot \left( z - e^{-T/T_1} \right)},$$

უფრო კომპაქტური სახით ეს გადამცემი ფუნქცია მიიღებს ციფრული ფილტრის გადამცემი ფუნქციის ფორმას:

$$\bar{W}^*(z) = \frac{b_0 z + b_1}{a_0 z^2 + a_1 z + a_2}$$

სადაც კოეფიციენტები განისაზღვრებიან შემდეგი ფორმულებით:

$$b_0 = K \left[ T - T_1 \left( 1 - e^{-T/T_1} \right) \right]$$

$$b_1 = K \left[ T_1 \left( 1 - e^{-T/T_1} \right) - T \cdot e^{-T/T_1} \right]$$

$$a_0 = 1,$$

$$a_1 = - \left( 1 + e^{-T/T_1} \right),$$

$$a_2 = e^{-T/T_1}.$$



სისტემის პარამეტრების მოცემული მუდმივი მნიშვნელობებისას  $T$ ,  $T_1$ ,  $k_y$  და  $K_o$  გადაცემის ფუნქციის კოეფიციენტები წარმოადგენენ მუდმივ სიდიდეებს. ამრიგად სჩანს, რომ გახსნილი ფუნქციის დისკრეტული გადამცემი ფუნქცია - არის წილადურ - რაციონალური ფუნქცია  $z$  ცვლადის. უნდა აღინიშნოს, რომ ფიზიკურად რეალიზებადი სისტემის შემთხვევაში ამ ფუნქციის მრიცხველის ხარისხი არ აჭარბებს მნიშვნელის ხარისხს.

ჩაკეტილი სისტემის დისკრეტულ გადამცემ ფუნქციას აქვს შემდეგი სახე:

$$\bar{\Phi}^*(z) = \frac{\bar{W}^*(z)}{1 + \bar{W}^*(z)} = \frac{(b_0 z + b_1)}{a_0 z^2 + a_1 z + a_2 + (b_0 z + b_1)}$$

ასევე ეს გადამცემი ფუნქცია შეიძლება წარმოდგენილი იქნას გაშლილი სახით:

$$\bar{\Phi}^*(z) = \frac{K \left\{ \left[ T - T_1 \left( 1 - e^{-T/T_1} \right) \right] z + \left[ T_1 \left( 1 - e^{-T/T_1} \right) - T \cdot e^{-T/T_1} \right] \right\}}{(z-1) \cdot \left( z - e^{-T/T_1} \right) + K \left[ T \left( z - e^{-T/T_1} \right) - T_1 (z-1) \cdot \left( 1 - e^{-T/T_1} \right) \right]}$$

ჩაკეტილი სისტემის ცდომილების დისკრეტული გადამცემი ფუნქცია:

$$\bar{\Phi}_e^*(z) = \frac{1}{1 + w(z)} = \frac{(z-1) \cdot \left( z - e^{-T/T_1} \right)}{(z-1) \cdot \left( z - e^{-T/T_1} \right) + K \left[ T \left( z - e^{-T/T_1} \right) - T_1 (z-1) \cdot \left( 1 - e^{-T/T_1} \right) \right]}$$

მოვიყვანოთ ჩაკეტილი სისტემის დისკრეტული გადამცემი ფუნქციის გამოსახულება  $\bar{\Phi}^*(z)$  ციფრული ფილტრის სტანდარტულ ფორმასთან:

$$\bar{\Phi}^*(z) = \frac{c_0 z + c_1}{d_0 z^2 + d_1 z + d_2},$$

სადაც  $c_0 = b_0$ ,  $c_1 = b_1$ ,  $d_0 = a_0$ ,  $d_1 = a_1 + b_0$ ,  $d_2 = a_2 + b_1$  ან გახსნილი სახით

$$c_0 = K \left[ T - T_1 \left( 1 - e^{-T/T_1} \right) \right],$$

$$c_1 = K \left[ T_1 \left( 1 - e^{-T/T_1} \right) - T \cdot e^{-T/T_1} \right],$$

$$d_0 = 1,$$

$$d_1 = K \left[ T - T_1 \left( 1 - e^{-T/T_1} \right) \right] - \left( 1 + e^{-T/T_1} \right),$$

$$d_2 = e^{-T/T_1} + K \left[ T_1 \left( 1 - e^{-T/T_1} \right) - T \cdot e^{-T/T_1} \right].$$

გადაცემის ფუნქციის კოეფიციენტების მნიშვნელობები დამოკიდებულია სისტემის პარამეტრებზე, მათ რიცხვშია დისკრეტული ნაწილის პარამეტრებიც. ამრიგად ჩანს, რომ ჩაკეტილი იმპულსური სისტემის დინამიკური თვისებები დამოკიდებულია არა მარტო მართვის ობიექტის თვისებებზე, არამედ კომპიუტერის დახმარებით რეალიზებული მდებარეობის რეგულატორისათვის არჩეული გაძლიერების კოეფიციენტის მნიშვნელობაზე, რომლის დახმარებითაც შეიძლება მივიღოთ იმპულსური სისტემა სასურველი თვისებებით.

ჩაკეტილი სისტემის  $\overline{\Phi}^*(z)$  გადაცემის დისკრეტული ფუნქციიდან შეიძლება მოძებნილი იქნას სხვაობითი ტოლობა, რომელიც აღწერს იმპულსური სისტემის რეაქციას მოცემულ ზემოქმედებაზე, მაგალითად,  $g(n)$ . უნდა აღვნიშნოთ, რომ სისტემის რეაქციის განსაზღვრისათვის შედარებით უფრო მოხერხებულია ჩაკეტილი სისტემის გადაცემის ფუნქციის სხვა ფორმა, კერძოდ:

$$\overline{\Phi}^*(z) = \frac{c_0 z^{-1} + c_1 z^{-2}}{d_0 + d_1 z^{-1} + d_2 z^{-2}}$$

იგი შეიძლება მიღებული იქნას საწყისი გადაცემის ფუნქციის მრიცხველისა და მნიშვნელის გაყოფით  $z^2$ -ზე. მაშინ გადამცემი ფუნქციის  $\overline{\Phi}^*(z)$  - ის შესაბამისი სხვაობითი ტოლობა მიიღებს შემდეგ ფორმას:

$$d_0 x(n) + d_1 x(n-1) + d_2 x(n-2) = c_0 g(n-1) + c_1 g(n-2)$$

და ამის მიხედვით შეიძლება განვსაზღვროთ იმპულსური სისტემის რეაქცია მოდებულ  $g(n)$  ზემოქმედებაზე. გამოთვლა ხორციელდება რეკურენტული ფარდობის საფუძველზე:

$$x(n) = \{c_0 g(n-1) + c_1 g(n-2) - d_1 x(n-1) - d_2 x(n-2)\} / d_0$$

აუცილებელია აღვნიშნოთ, რომ იმპულსური სისტემის რეაქციის მიღებული აღწერილობა შეესაბამება მხოლოდ დისკრეტულ  $t=nT$  მომენტებს.

## თავი 12 კომპიუტერული მართვის სისტემის მდგრადობის და სიზუსტის გამოკვლევა

### 12.1. კომპიუტერული მართვის სისტემის მდგრადობა

მდგრადობა წარმოადგენს კომპიუტერული სისტემის უმნიშვნელოვანეს მახასიათებელს, რადგანაც იგი განსაზღვრავს სისტემის მუშაობის უნარიანობას. არამდგრადი სისტემების პრაქტიკაში გამოყენება შეუძლებელია.

განვიხილოთ წრფივი იმპულსური სისტემები. როგორც ცნობილია, ასეთი სისტემების მოძრაობა შეიძლება დავყოთ საკუთარ და იძულებითად. საკუთარი მოძრაობა განპირობებულია მხოლოდ არანულოვანი საწყისი პირობებით და არ არის დამოკიდებული გარე ზემოქმედებებზე. თუ მკს-ის საკუთარი მოძრაობა რჩება შეზღუდული სისტემის მუშაობის მთელი დროის განმავლობაში, მაშინ სისტემა ითვლება მდგრადად. თუ საკუთარი მოძრაობა დროის განმავლობაში მიიღევა და მიისწრაფვის ნულისკენ, მაშინ სისტემა ითვლება ასიმპტოტურად მდგრადად.

განვსაზღვროთ პირობა, რომლის შესრულების დროსაც სისტემა ასიმპტოტურად მდგრადია. ამავე დროს შევნიშნოთ, რომ წრფივი ასიმპტოტური სისტემებისათვის მდგრადობა არის სისტემის თვისება და არა კონკრეტული გადაწყვეტა.

საკუთარი მოძრაობა განისაზღვრება ერთგვაროვანი სხვაობითი ტოლობის ამოხსნით, რომელიც აღწერს სისტემას:

$$x(k) + a_1x(k-1) + a_2x(k-2) + \dots + a_nx(k-n) = 0$$

ან  $x(n) + a_1x(n-1) + a_2x(n-2) + \dots + a_nx(0) = 0$ .

ზემოთ ნაჩვენები იყო, რომ ამ ტოლობის ზოგად ამონახსნს აქვს შემდეგი სახე:

$$x(k) = \sum_{i=1}^{m_1} P_i(k) \cdot \lambda_i^k$$

სადაც  $k$  - დროის ტაქტური მომენტის ნომერია,  $\lambda_1, \dots, \lambda_{m_1}$  - მახასიათებელი ტოლობის ფესვებია:

$$\lambda^n + a_1\lambda^{n-1} + a_2\lambda^{n-2} + \dots + a_n = 0$$

$P_i(k)$  - მრავალწევრია  $k$ -სგან, რომლის რიგი ერთით ნაკლებია შესაბამისი საკუთარი მნიშვნელობის ჯერადობაზე ანუ მახასიათებელი განტოლების ფესვის მნიშვნელობაზე.

თუ ყველა ფესვი უბრალოა (არაჯერადი) მაშინ  $n_1 = n$ , ანუ სხვაგვარად

$n_1 < n$ , მაშინ

$$x(k) = \sum_{i=1}^n P_i \cdot \lambda_i^k$$

ზოგადი გადაწყვეტის სახეა, რომელიც ახასიათებს წრფივი იმპულსური სისტემის საკუთარ მოძრაობას, ადასტურებს იმას, რომ ასეთი სისტემა ასიმპტოტურად მდგრადია მხოლოდ მაშინ, როდესაც მახასიათებელი განტოლების ფესვები მოდულით ნაკლებია ერთზე:

$$|\lambda_i| < 1, \quad i = 1, 2, \dots, n_1$$

ამ შემთხვევაში  $|\lambda_1^0| > |\lambda_1^1| > |\lambda_1^2| > |\lambda_1^3| \dots$  ამიტომ დროის მსვლელობასთან ერთად მცირდება  $x(k)$ . ეს პირობა ნიშნავს, რომ მახასიათებელი განტოლების ყველა ფესვი უნდა იმყოფებოდეს ერთეულოვანი წრეწირის შიგნით.

თუ სისტემა აღიწერება დისკრეტული გადამცემი ფუნქციით

$$\bar{W}^*(z) = \frac{b_0 z^m + b_1 z^{m-1} + \dots + b_m}{a_0 z^n + a_1 z^{n-1} + \dots + a_n} = \frac{b_0 z^{m-n} + b_1 z^{m-n-1} + \dots + b_m z^{-n}}{a_0 + a_1 z^{-1} + \dots + a_n z^{-n}}$$

მაშინ  $z$  ცვლადის შეცვლა  $\lambda$ -თი, შეიძლება განხილული იქნას ამ გადამცემი ფუნქციის მნიშვნელი, როგორც მახასიათებელი მრავალწევრი. ამაში ჩვენ ადვილად დავრწმუნდებით, თუ ჩავწერთ სხვაობით ტოლობას, რომელიც შეესაბამება გადამცემ ფუნქციას:

$$\bar{W}^*(z) = \frac{b_0 z^m + b_1 z^{m-1} + \dots + b_m}{a_0 z^n + a_1 z^{n-1} + \dots + a_n} = \frac{X^*(z)}{U^*(z)}$$

ამ დისკრეტული გადამცემი ფუნქციის მნიშვნელიდან ხდება სხვაობითი ტოლობის ფორმირება:

$$a_0 x(n) + a_1 x(n-1) + \dots + a_n x(0) = b_0 u(m) + b_1 u(m-1) + \dots + b_m u(0)$$

ხოლო მისი მარცხენა ნაწილიდან მიიღება მახასიათებელი ტოლობა:

$$a_0 \lambda^n + a_1 \lambda^{n-1} + \dots + a_n \lambda^0 = 0$$

ამრიგად, პრაქტიკაში მახასიათებელი ტოლობა შეიძლება მივიღოთ, თუ გადამცემი

ფუნქციის მნიშვნელს გავუტოლებთ ნულს და  $z$  შევცვლით  $\lambda$  - თი შესაბამისი ხარისხის მაჩვენებლით, მაგალითად,  $z^r$  -ს შევცვლით  $\lambda^r$ .

მაშინ მდგრადობის პირობა ჩამოყალიბდება ასე:

$$|\lambda_i| < 1, \quad i = 1, 2, \dots, k$$

მახასიათებელი განტოლების ფესვების გამოთვლა შეიძლება წარმოადგენდეს რთულ ამოცანას, განსაკუთრებით იმ შემთხვევაში, თუ მისი ხარისხი არის მაღალი. ამიტომ მდგრადობის პირობის შესრულების შემოწმება (ფესვების პოვნა ერთეულოვანი წრეწირის შიგნით) ხორციელდება მახასიათებელი ტოლობის ფესვების გამოთვლის გარეშე. ამისათვის გამოიყენება მდგრადობის კრიტერიუმები.

### მაგალითი

განიხილება იმპულსური სისტემა, ჩაკეტილი ერთეულოვანი უარყოფითი უკუკავშირით. ამ სისტემის პირდაპირ წრედში ჩართულია იდეალური დამკვანტავი და სისტემის დაყვანილი უწყვეტი ნაწილი, რომლის გადაცემის ფუნქცია:

$$W_H(s) = W_\phi(s) \cdot W_o(s)$$

უწყვეტი მართვის ობიექტი შეიცავს ინტეგრატორს და გამამლიერებელს, რომლის გადაცემის კოეფიციენტი  $k > 0$ , ამიტომ მართვის ობიექტის გადაცემის ფუნქციას აქვს გამოსახულება.

$$W_o(s) = \frac{k}{s}$$

ცნობილია მაფორმირებელი ელემენტის გადაცემის ფუნქცია:

$$W_\phi(s) = \frac{1 - e^{-Ts}}{s}$$

გახსნილი სისტემის გადაცემის ფუნქცია:

$$\bar{W}^*(z) = \frac{z-1}{z} Z \left\{ L^{-1} \left( \frac{k}{s^2} \right) \right\} = \frac{z-1}{z} \cdot k \cdot \frac{Tz}{(z-1)^2}$$

გამოსახულების და ფუნქცია - ორიგინალების შესაბამისობის ცხრილით ნაპოვნს ექნება სახე:

$$\bar{W}^*(z) = \frac{kT}{z-1}$$

ვიპოვოთ ჩაკეტილი სისტემის დისკრეტული გადამცემი ფუნქცია:

$$\bar{\Phi}^*(z) = \frac{\bar{W}^*(z)}{1 + \bar{W}^*(z)} = \frac{kT}{z - 1 + kT} = \frac{kT}{z + (kT - 1)}$$

მახასიათებელ ტოლობას მივიღებთ, თუ დისკრეტული გადამცემის ფუნქციის მნიშვნელს გავუტოლებთ ნულს

და მასში შევცვლით  $z$  - ს  $\lambda$  -თი.

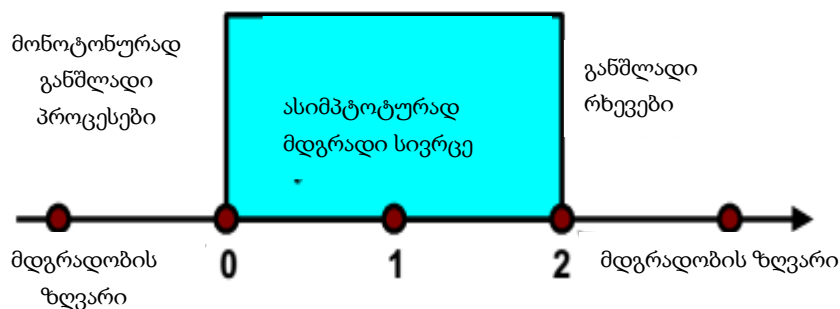
$$\lambda - 1 + kT = 0.$$

ამგვარად, მახასიათებელი ტოლობას ექნება შემდეგი სახე:

$$\lambda = 1 - kT$$

აქედან ვიღებთ იმპულსური სისტემის ასიმპტოტური მდგრადობის (ნახ. 8-1)

$$|\lambda| < 1; |1 - kT| < 1; 0 < kT < 2$$



ნახ. 12-1. იმპულსური სისტემის მდგრადობისა და არამდგრადობის არეები

რამდენადაც გაძლიერების კოეფიციენტს და დროში დაკვანტვის პერიოდს რეალურად შეიძლება ჰქონდეთ მხოლოდ დადებითი მნიშვნელობები, მაშინ განხილული იმპულსური სისტემის მდგრადობის პირობა გამოიყურება ასე:

$$k < \frac{2}{T}$$

## 12. 2. იმპულსური სისტემების მდგრადობის კრიტერიუმები

მდგრადობის კრიტერიუმები საშუალებას გვაძლევს შევამოწმოთ  $|\lambda_i| < 1, i = 1, 2, \dots, k$  პირობის შესრულება  $k$ -ური რიგის მახასიათებელი ტოლობისათვის, ისე, რომ არ განვსაზღვროთ ამ იმპულსური სისტემის იმ მახასიათებელი ტოლობის ფესვები.

### 12. 2. 1. მდგრადობის გურვიცის კრიტერიუმი

ამ კრიტერიუმის გამოსაყენებლად იმპულსური სისტემის მახასიათებელი ტოლობა, რომელსაც აქვს სახე:

$$R(\lambda) = a_0 \lambda^n + a_1 \lambda^{n-1} + a_2 \lambda^{n-2} + \dots + a_n = 0$$

უნდა იქნას გარდაქმნილი, ამ გარდაქმნას საფუძვლად უდევს  $w$  - გარდაქმნა. ამ გარდაქმნას ერთეულოვანი წრეწირის შიგნით მყოფი წერტილები გადააქვს მარცხენა  $w$  ნახევარსიბრტყეში. ხოლო წერტილები, რომლებიც არ იმყოფება ამ წრეწირის შიგნით - გადადის  $w$  - ს მარჯვენა ნახევარსიბრტყეში, ხოლო რომლებიც იმყოფება ამ წრეწირზე ხვდება წარმოსახვით  $w$  ღერძზე რამდენადაც სიბრტყე  $w$  დისკრეტული სისტემების თეორიაში წარმოადგენს  $s$  სიბრტყის ანალოგს უწყვეტ სისტემებში, მასში შეიძლება გამოყენებული იქნას ბურვიცის კრიტერიუმი. მახასიათებელი ტოლობის გარდაქმნისას ცვლადი  $\lambda$  უნდა შეიცვალოს გამოსახულებით

$$\lambda = \frac{1+w}{1-w}$$



ამ დროს საწყისი მრავალწევრი  $R(\lambda)$  გარდაიქმნება ახალ მრავალწევრად, რომელიც აღვნიშნოთ  $P(w)$  - თი. გარდაქმნის შედეგად მივიღებთ ტოლობას:

$$a_0 \left( \frac{1+w}{1-w} \right)^n + a_1 \left( \frac{1+w}{1-w} \right)^{n-1} + \dots + a_n = 0$$

ხოლო  $(1-w)^n$  - ზე გამრავლების შემდეგ, ასეთი სახის ტოლობას:

$$P(w) = a_0(1+w)^n + a_1(1+w)^{n-1}(1-w) + \dots + a_n(1-w)^n = 0$$

მიღებული ტოლობა შეიძლება გარდაქმნათ ერთგვაროვანი წევრების დაჯგუფებით:

$$P(w) = b_0 w^n + b_1 w^{n-1} + b_2 w^{n-2} + \dots + b_n = 0.$$

ეს ტოლობა აგრეთვე არის მახასიათებელი ტოლობა იმავე იმპულსური სისტემისა, რომელიც მიღებულია ცვლადების გარდაქმნის შედეგად. ცხადია, რომ კოეფიციენტები  $b_0, b_1, \dots, b_n$  გამოისახება საწყისი მახასიათებელი ტოლობის  $a_0, a_1, \dots, a_n$  კოეფიციენტების მეშვეობით.

გამოვიყენოთ გურვიცის კრიტერიუმი  $P(w) = 0$  ტოლობის მიმართ. ამისათვის შევადგინოთ გურვიცის მატრიცა:

$$\begin{vmatrix} b_1 & b_0 & 0 & \dots & 0 \\ b_3 & b_2 & b_1 & \dots & 0 \\ b_5 & b_4 & b_3 & \dots & 0 \\ & & \dots & & \\ 0 & 0 & 0 & \dots & b_n \end{vmatrix} :$$

გურვიცის თეორემის თანახმად  $P(w) = 0$  ტოლობის ყველა ფესვი მდებარეობს მარცხენა ნახევარსიბრტყეზე, თუ გურვიცის მატრიცის მთავარი დიაგონალური მინორები დადებითებია, ეს იმას ნიშნავს, რომ უნდა შესრულდეს პირობა:

$$\Delta_i > 0 \quad (i = 1, 2, \dots, n)$$

ამავე დროს ითვლება, რომ  $b_0 > 0$  და  $b_n \neq 0$ . ამგვარად მდგრადი სისტემისთვის უნდა იყოს მართებული უტოლობები:

$$b_1 > 0; \begin{vmatrix} b_1 & b_0 \\ b_3 & b_2 \end{vmatrix} > 0; \dots b_n > 0$$

რამდენადაც მახასიათებელი ტოლობის ფესვები:

$$a_0 \lambda^n + \dots + a_n = 0$$

$w$  - გარდ

$w$  აქმნის შედეგად დაკავშირებულია არიან  $P(w) = 0$  ტოლობის ფესვებთან, მაშინ გურვიცის თეორემის პირობების შესრულებისას მახასიათებელი ტოლობის ფესვები მოთავსებულია ერთეულოვანი წრეწირის შიგნით. აქედან გამომდინარე, სისტემა რომლის კვლევასაც ვახდენთ, ასიმპტოტურად მდგრადია.

სანამ დავიწყებდეთ გურვიცის მატრიცის აგებას, მიზანშეწონილია წინასწარ შევამოწმოთ მდგრადობის აუცილებელი პირობის შესრულება: ყველა კოეფიციენტი

$b_0, b_1, \dots, b_m$  უნდა განსხვავდებოდეს ნულისაგან და უნდა ჰქონდეს ერთნაირი ნიშნები.

აუცილებელი პირობის შესრულებისას სისტემაში არ შეიძლება წარმოიქმნას მონოტონურად განშლადი პროცესები. მაგრამ იმის დასარწმუნებლად, რომ სისტემა

მდგრადია, ეს არ არის საკმარისი. იმისათვის, რომ განშლადი პროცესების არარსებობაში დარწმუნებული ვიყოთ, საჭიროა რომ გურვიცის მატრიცის მთავარი დიაგონალური მინორები (მთავარი განმსაზღვრელები) იყოს დადებითი.

## მაგალითი

მუდმივი დენის ძრავიანი იმპულსური სისტემის მოდელის განხილვისას მიღებულია ჩაკეტილი სისტემის დისკრეტული გადამცემი ფუნქცია:

$$\bar{\Phi}^*(z) = \frac{c_0 z + c_1}{d_0 z^2 + d_1 z + d_2}$$

ამ სისტემის მახასიათებელ ტოლობას აქვს სახე:

$$d_0 \lambda^2 + d_1 \lambda + d_2 = 0$$

გავყოთ ყველა კოეფიციენტი  $d_0 \neq 0$ -ზე და მივიღებთ მახასიათებელ განტოლებას:

$$\lambda^2 + a_1 \lambda + a_2 = 0$$

სადაც 
$$a_1 = \frac{d_1}{d_0}; \quad a_2 = \frac{d_2}{d_0}$$

ჩანაცვლებას 
$$\lambda = \frac{1+w}{1-w}$$

მივყავართ ტოლობამდე: 
$$\left(\frac{1+w}{1-w}\right)^2 + a_1 \left(\frac{1+w}{1-w}\right) + a_2 = 0$$

რომლის საფუძველზეც შეიძლება მივიღოთ ტოლობა:

$$(1+w)^2 + a_1(1+w)(1-w) + a_2(1-w)^2 = 0$$

$$1 + 2w + w^2 + a_1(1-w^2) + a_2 - 2a_2w + a_2w^2 = 0$$

ვკრებთ ერთგვაროვან წევრებს და ვახდენთ მახასიათებელი ტოლობის  $P(w)=0$ -ის ფორმირებას:

$$P(w) = b_0 w^2 + b_1 w + b_2 = (1 - a_1 + a_2) \cdot w^2 + 2(1 - a_2) \cdot w + (1 + a_1 + a_2) = 0.$$

მეორე ხარისხის ტოლობისათვის საკმარისია მოვითხოვოთ, რომ ყველა კოეფიციენტი  $b_i$  იყოს დადებითი. ამ შემთხვევაში მდგრადობისათვის აუცილებელი და საკმარისი პირობები ემთხვევა ერთმანეთს. ამ შემთხვევაში გურვიცის განმსაზღვრელების ნიშნის შემოწმება არ არის საჭირო.

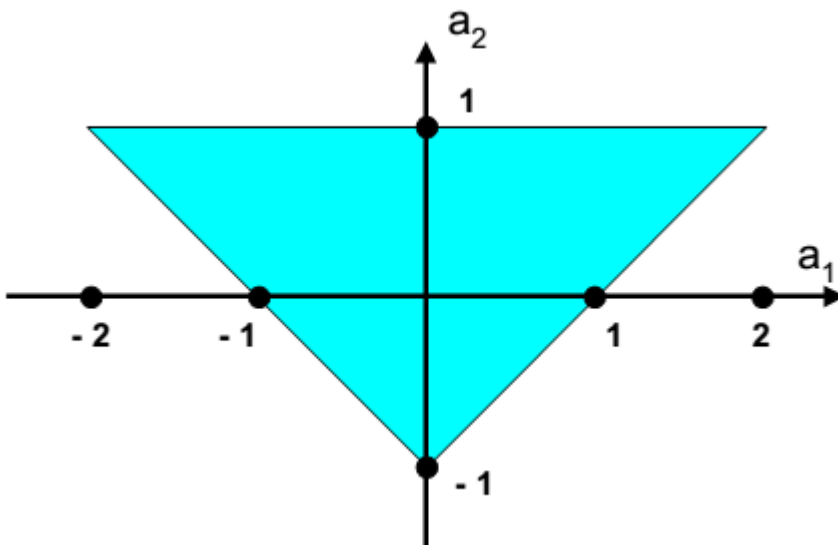
ამგვარად, გვაქვს სისტემის ასიმპტოტური მდგრადობის შემდეგი პირობები:

$$\begin{cases} 1 - a_1 + a_2 > 0, \\ 1 - a_2 > 0, \\ 1 + a_1 + a_2 > 0, \end{cases}$$

რომელიც გარდაიქმნება შემდეგი სახით:

$$\begin{cases} a_2 < 1, \\ a_2 > a_1 - 1, \\ a_2 > -a_1 - 1. \end{cases}$$

განხილული იმპულსური სისტემის ასიმპტოტური მდგრადობის არე, აღიწერება მეორე რიგის ტოლობით, რომელიც ნაჩვენებია ნახ. 8.2:



ნახ. 12. 2. მუდმივი დენის ძრავიანი იმპულსური სისტემის მდგრადობის არე

## 12. 2. 2. მდგრადობის ნაიკვისტის კრიტერიუმი

ნაიკვისტის კრიტერიუმი საშუალებას გვაძლევს დავადგინოთ ჩაკეტილი იმპულსური სისტემის მდგრადობა გახსნილი სისტემის აფსმ-ის მიხედვით. ჩვეულებრივ, ეს კრიტერიუმი გამოიყენება სისტემების მდგრადობის ანალიზისათვის მათი ლოგარითმულ სიხშირული მახასიათებლების (ლსმ) მიხედვით, რომელიც აგებულია ფუნქციაში ფსევდოსიხშირისაგან. ამავდროულად ხდება ანალიზი გახსნილი სისტემის ლასმ-ის და ლფსმ-ის მიხედვით.

შესაძლებლობა რომ გვექნეს ნაიკვისტის კრიტერიუმით სარგებლობის, უნდა შევასრულოთ გახსნილი  $\bar{W}^*(z)$  სისტემის დისკრეტული გადამცემი ფუნქციის  $w$  - გარდაქმნა, ამ გარდაქმნისას უნდა მოვახდინოთ ცვლადების შეცვლა  $z = (1 + wT/2)(1 - wT/2)^{-1}$

ტოლობის შესაბამისად. ამის შედეგად მივიღებთ გარდაქმნილ  $\bar{W}(w)$  გადამცემ ფუნქციას, ხოლო თუ დავუშვებთ  $w = j\omega^*$ ; ვიპოვით აფსმ-ს:

$$\bar{W}(w)|_{w=j\omega^*} = \bar{W}(j\omega^*)$$

ახლა ჩვენ უკვე შეგვიძლია ავაგოთ ლსმ გახსნილი იმპულსური სისტემის. ლასმ-ის და ლფსმ-ის მიხედვით ნაიკვისტის კრიტერიუმის დახმარებით ირკვევა, მდგრადია თუ არა ჩაკეტილი იმპულსური სისტემა და განისაზღვრება მდგრადობის მარაგი ამპლიტუდის და ფაზის, ზუსტად ასე, როგორც უწყვეტი სისტემებისათვის.

ნაიკვისტის კრიტერიუმის ფორმულირება ხდება შემდეგნაირად, იმისათვის რომ იმპულსური სისტემა ჩაკეტილ მდგომარეობაში იყოს მდგრადი, აუცილებელია, რომ

სხვაობა  $\varphi = -\pi$  ღერძის  $\varphi(\omega^*)$  -ის ფაზურსიხშირული დადებითი და უარყოფითი გადასვლების რიცხვებს შორის სხვაობა იყოს, იმ სიხშირი, ინტერვალში

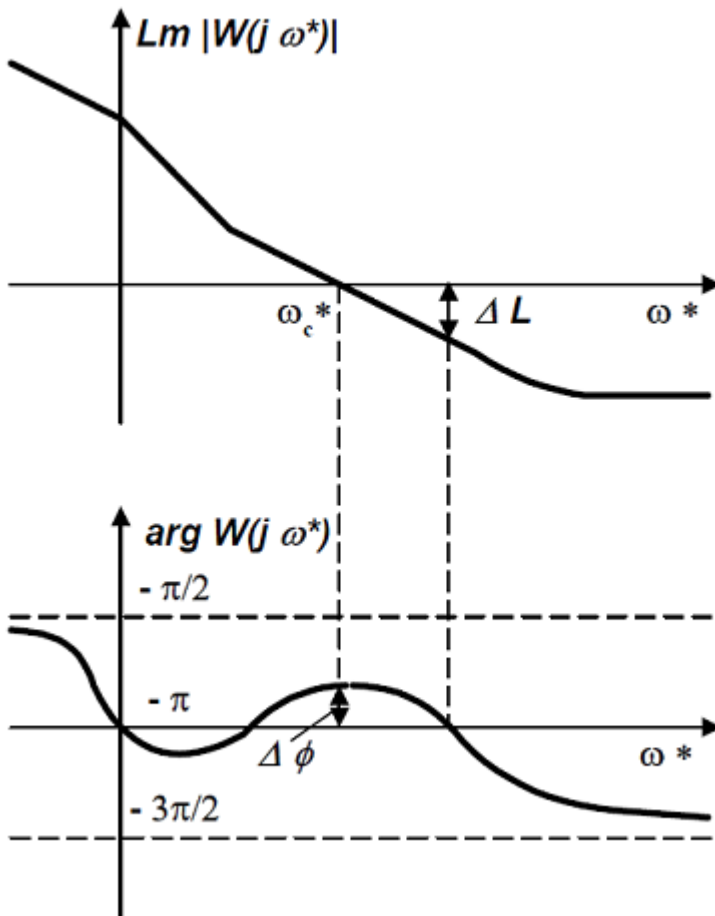
რომელთათვისაც  $Lm W(j\omega^*) > 0$ , იყოს ტოლი  $i/2$  სადაც  $i$  არის პოლუსების რიცხვი გარდაქმნილი  $W(w)$  გადამცემი დისკრეტული ფუნქციის მარჯვენა ნახევარსიბრტყეში.

ფაზურ სიხშირული მახასიათებლის გადასვლების რაოდენობის დათვლისას უნდა ვიხელმძღვანელოთ შემდეგი წესებით:

1. გადასვლები უნდა ვიანგარიშოთ ფსევდოსიხშირების დიაპაზონში:

$$0 \leq \omega^* < \omega_c^*, \text{ где } \omega_c^*, \text{ სადაც } |W(j\omega_c^*)| = 1$$

2. ლასმ-ის დასაწყისი უსასროდ დამორებულ წერტილში  $\omega^* = 0$ , როდესაც  $\varphi(0) = -\pi$  ითვლება ნახევარგადასვლად თუ გახსნილ იმპულსურ სისტემას არ გააჩნია პოლუსები მარჯვენა ნახევარსიბრტყეში ( $l = 0$ ), მაშინ ის მდგრადი ან ნეიტრალურია, ამ შემთხვევაში მდგრად ჩაკეტილ სისტემას შეესაბამება გახსნილი სისტემის ლფსმ, რომელიც წყვილი რიცხვების ჯერადად გადაკვეთს  $-\pi$  ღერძს იმ სიხშირეებზე სადაც ლასმ გახსნილი სისტემის განლაგებულია  $0$  დბ-ის დონის ზევით. მაგალითის სახით განვიხილოთ ლსმ მდგრადი იმპულსური სისტემის გახსნილ მდგომარეობაში ( $l = 0$ ), რომელიც წარმოდგენილია ნახ. 12.3-ზე.



ნახ. 12.3. გახსნილი იმპულსური სისტემის ლსმ

ჩანს, რომ ფაზურსიხშირული მახასიათებელი ორჯერ გადაკვეთს ღერძს -  $\pi$  ფსევდოსიხშირის დიაპაზონში  $0 \leq \omega^* < \omega_c^*$ , სადაც გახსნილი სისტემის ლასმ მდებარეობს -სბ-ზე მაღალ დონეზე. ამიტომ ლსმ ნახ. 8.3.-ზე შეესაბამება ჩაკეტილ მდგრად სისტემას. ამ ნახაზზე ნაჩვენებია სიიდეები  $\Delta L$  და  $\Delta \phi$  წარმოადგენენ მდგრადობის მარაგს ამპლიტუდური და ფაზით შესაბამისად.

### 12.3. იმპულსური სისტემების სიზუსტის ანალიზი

განვიხილოთ იმპულსური სისტემა ერთეულოვანი უარყოფითი უკუკავშირით. გახსნილ მდგომარეობაში ამ სისტემას აქვს გადაცემის ფუნქცია  $\overline{W}^*(z)$ . ამ გვ-ისაგან დამოკიდებულებებით იმპულსური სისტემები იყოფა სტატიკურ და ასტატიკურ სისტემებად.  $\nu$ -ური ასტატიზმის რიგის მქონე გახსნილი სისტემის გვ შეიძლება გამოსახული იქნას შემდეგი სახით:

$$\overline{W}^*(z) = \frac{\overline{W}_1^*(z)}{(z-1)^\nu},$$

სადაც  $\overline{W}_1^*(z)$  - გვ ფუნქცია, რომელსაც არ გააჩნია პოლუსები  $z=1$  წერტილში. ამავე სისტემის დისკრეტული გვ ცდომილება ტოლია:

$$\overline{\Phi}_\varepsilon^*(z) = \frac{(z-1)^\nu}{\overline{W}_1^*(z) + (z-1)^\nu}$$

და არ გააჩნია პოლუსები  $z=1$  წერტილში. ამ დროს:

$$\lim_{z \rightarrow 1} [\overline{W}_1^*(z) + (z-1)^\nu] \neq \infty.$$

სტატიკურ იმპულსურ სისტემას ფლობს ისეთი გვ-ს, რომელსაც არ აქვს მნიშვნელში მამრავლი  $(z-1)$ , ანუ, რაც იგივეა  $\nu=0$

იმპულსური სისტემის ცდომილება განისაზღვრება ტოლობით, რომელსაც აქვს შემდეგი სახე:

$$E^*(z) = \overline{\Phi}_\varepsilon^*(z) G^*(z)$$

რომელშიც  $G^*(z)$  - შემავალი ზემოქმედების გამოსახულებაა, რომელიც

ლაპლასის დისკრეტული გარდაქმნის დახმარებით. მოყვანილი ტოლობიდან ჩანს, რომ იმპულსური სისტემის სიზუსტე დამოკიდებულია, არა მხოლოდ ამ სისტემის მახასიათებლებზე, არამედ მასზე მოდებულ შემავალ ზემოქმედებაზე.

ჩავატაროთ იმპულსური სისტემის სიზუსტის ანალიზი, მაშინ როდესაც სისტემაზე მოქმედებს პოლინომიალური და ჰარმონიული ზემოქმედებები, რომლებიც წარმოადგენს მახასიათებელ მაგალითებს აღწერილი რეალური ზემოქმედებებისა.

### 12.3.1. იმპულსური სისტემის სიზუსტის ანალიზი პოლინომიალური ზემოქმედებებისას

დავუშვათ, შემავალი ზემოქმედება წარმოადგენს პოლინომს

$$g(nT) = g_0 \cdot 1(nT) + g_1 nT + g_2 (nT)^2 + \dots + g_k (nT)^k$$

თავდაპირველად გავანალიზოთ ასტატიკური სისტემის სიზუსტე. ასეთი იმპულსური სისტემის ცდომილება გამოისახება შემდეგი ტოლობით

$$E^*(z) = \frac{(z-1)^v}{W_1^*(z) + (z-1)^v} G^*(z)$$

განვსაზღვროთ პოლინომიალური ზემოქმედების გამოსახულება,  $Z$ -გარდაქმნის საშუალებით:

$$G^*(z) = Z\{g[nT]\} = g_0 \frac{z}{z-1} + g_1 \frac{Tz}{(z-1)^2} + g_2 \frac{T^2 z(z+1)}{(z-1)^3} + \dots + g_k \frac{T^k z R_k(z)}{(z-1)^{k+1}}, = \frac{Q(z)}{(z-1)^{k+1}},$$

სადაც  $R_k(z)$  - პოლინომია  $z$  ცვლადისაგან  $(k-1)$  ხარისხი



ორიგინალის ზღვრული მნიშვნელობის თეორემის მიხედვით, ვიპოვით სისტემის ცდომილებას დამყარებულ რეჟიმში:

$$\lim_{n \rightarrow \infty} \varepsilon(nT) = \lim_{z \rightarrow 1} (z-1)E^*(z) = \lim_{z \rightarrow 1} (z-1)^{v-k} \frac{Q(z)}{\overline{W}_1^*(z) + (z-1)^v}$$

აღვნიშნოთ, რომ როდესაც  $z = 1$  ფუნქციას  $\frac{Q(z)}{\overline{W}_1^*(z) + (z-1)^v}$

აქვს გარკვეული მნიშვნელობა, რადგანაც  $\overline{W}_1^*(z)$ -ს არ გააჩნია პოლუსები, როდესაც  $z = 1$ . აქედან გამომდინარეობს, რომ ასტატიკური სისტემის ცდომილება დამყარებულ რეჟიმში დამოკიდებულია სისტემის ასტატიზმის ხარისხზე და პოლინომის რიგზე, რომელიც ახასიათებს შემავალ ზემოქმედებას შემდეგი სახით:

როდესაც  $v > k$   $\varepsilon_{ycm} = \lim_{n \rightarrow \infty} \varepsilon(nT) = 0$ , ანუ ცდომილება ტოლია ნოლის,

როდესაც  $v < k$  ცდომილება უსასრულოდ იზრდება,

როდესაც  $v = k$   $\varepsilon_{ycm} = \frac{Q(1)}{\overline{W}_1^*(1)}$  ანუ ცდომილება მიისწრაფის მუდმივი სიდიდისაკენ.

სტატიკური იმპულსური სისტემა ( $v = 0$ ), რომლისთვისაც მართებულია

$\overline{W}^*(z) = \overline{W}_1^*(z)$ , აქვს ცდომილების დისკრეტული გფ, რომელიც ექვემდებარება ტოლობას:

$$\overline{\Phi}_\varepsilon^*(z) = \frac{1}{1 + \overline{W}_1^*(z)}$$

სტატიკური სისტემის დამყარებული ცდომილება  $\varepsilon_{დამყ.}$  მისი რაქციისას მუდმივ

ზემოქმედებაზე  $g(nT) = g_0 \cdot 1(nT)$  პროპორციულია ამ  $g_0$  ზემოქმედებისა. ამაში ჩვენ ადვილად დავრწმუნდებით შემდეგი დამოკიდებულების განხილვით:

$$\varepsilon_{ycm} = \lim_{z \rightarrow 1} (z-1) \frac{g_0 z}{(z-1)} \cdot \frac{1}{1 + \overline{W}_1^*(z)} = \frac{g_0}{\underbrace{1 + \overline{W}_1^*(1)}_{=const}}$$

პირველი რიგის ასტატიკური სისტემისათვის დამყარებული ცდომილება მის შესასვლელზე წრფივად მზარდი ზემოქმედების:

$$g[nT] = g_0 l[nT] + g_1 nT$$

მიწოდებისას პროპორციულია ამ  $g_1$  ზემოქმედების ცვლილებისა, ხოლო ზემოქმედების მუდმივი მდგენელი  $g_0$  ცდომილებაზე არ მოქმედებს, რაც გამომდინარეობს ტოლობიდან:

$$\varepsilon_{ycm} = \lim_{z \rightarrow 1} (z-1) \frac{(z-1)}{\overline{W}_1^*(z) + (z-1)} \left\{ \frac{g_0 z(z-1) + g_1 Tz}{(z-1)^2} \right\} = \lim_{z \rightarrow 1} \frac{g_0 z(z-1) + g_1 Tz}{\overline{W}_1^*(z) + (z-1)} = \frac{g_1 T}{\overline{W}_1^*(1)}$$

იმპულსური სისტემის სიზუსტის გასაზრდელად მიზანშეწონილია გაზარდოთ მისი ასტატიზმის რიგი და  $\overline{W}_1^*(1)$  ფუნქციის მნიშვნელობა.

პირველი მიიღწევა სისტემის პირდაპირ წრედში პროგრამულად რეალიზებული მაინტეგრირებელი ელემენტების ჩართვით. მეორე - სისტემის პირდაპირი წრედის გადაცემის კოეფიციენტის გაზრდით პროგრამულად რეალიზებადი რეგულატორის პროპორციული ნაწილის გაძლიერების კოეფიციენტის ზრდის ხარჯზე.

აუცილებელია გვახსოვდეს, რომ აღწერილი მეთოდი გვაძლევს საშუალებას, ვაკონტროლოთ ცდომილება დამყარებულ რეჟიმში მხოლოდ დროის დისკრეტულ მომენტებში. განსაკუთრებულობა იმპულსური სისტემების მდგომარეობს იმაში, რომ სიგნალის განმეორების პერიოდებს შორის შესაძლებელია რხევები დამყარებულ რეჟიმში. ესენი არიან ე. წ. ფარული რხევები. ამავე დროს გამოსავალი უწყვეტი სიგნალის რხევები არ აღიქმება მმართველ ზემოქმედებაზე. ფარული რხევების გამოვლენის ეფექტური საშუალებაა, სისტემის მოდელირება უწყვეტი ნაწილის უფრო ზუსტი მოდელის გამოყენება, რომელიც აღწერს მისი მუშაობის დინამიკას გახსნილ მდგომარეობაში დაკვანტვის მომენტებს შორის.

### 12. 3. 2. იმპულსური სისტემების სიზუსტის ანალიზი მასზე დროში დისკრეტული ჰარმონიული ზემოქმედებისას

იმპულსური სისტემის დამყარებული ცდომილების ანალიზი მასზე დროში დისკრეტული ჰარმონიული ზემოქმედებისას:

$$g[nT] = A \cos(nT\omega_1)$$

შეიძლება შესრულებული იქნას ორი მეთოდით. შესაბამისად პირველი მეთოდის სისტემის ცდომილების ლფსმ - ის

$$\overline{\Phi}_\varepsilon^*(j\omega) = \overline{\Phi}_\varepsilon^*(z) \Big|_{z=e^{j\omega T}}$$

გამოყენებით შეიძლება ცდომილებისათვის დამყარებულ რეჟიმში ჩავწეროთ შემდეგი ტოლობა:

$$\varepsilon_{ycm} = A \left| \overline{\Phi}_\varepsilon^*(j\omega_1) \right| \cos[\omega_1 nT + \arg \overline{\Phi}_\varepsilon^*(j\omega_1)].$$

სადაც  $\left| \overline{\Phi}_\varepsilon^*(j\omega_1) \right|$  და  $\arg \overline{\Phi}_\varepsilon^*(j\omega_1)$  - ასმ - ი და ფსმ - ია.

იმპულსური სისტემის ცდომილების სიგნალის მიხედვით შემავალი ზემოქმედების სიხშირით ანუ როდესაც  $\omega = \omega_1$ . ვიგულისხმობთ, რომ იმპულსურ სისტემას გააჩნია ერთეულოვანი მთავარი უკუკავშირი. გავითვალისწინოთ, რომ ეფსმ - ი ჩაკეტილი სისტემის  $\overline{\Phi}_\varepsilon^*(j\omega^*)$  ცდომილების მიხედვით დაკავშირებულია გახსნილი  $\overline{W}^*(j\omega^*)$  სისტემის ეფსმ - თან ტოლობით:

$$\overline{\Phi}_\varepsilon^*(j\omega^*) = \frac{1}{1 + \overline{W}^*(j\omega^*)}$$

თუ სიხშირის ზოგიერთ სფეროში სრულდება პირობა:

$$\left| \overline{W}^*(j\omega^*) \right| \gg 1$$

მაშინ ამ სფეროში შეიძლება მივიღოთ:

$$|\overline{\Phi}_\varepsilon(j\omega^*)| \approx |\overline{W}^*(j\omega^*)|^{-1}$$

ამგვარად, ამ შემთხვევაში სისტემის ცდომილების ამპლიტუდა  $\varepsilon_{\text{დამ.ამ}}$  ზემოქმედებისას  $\omega^* = \omega_1^*$  შეიძლება განვსაზღვროთ, თუ გახსნილი სისტემის თვისება შემდეგი ტოლობის შესაბამისად:

$$\varepsilon_{\text{დამ.ამ}} \approx A |\overline{W}^*(j\omega_1^*)|^{-1} \quad (12-1)$$

(12-1) - ის საფუძველზე დაყრდნობით შეიძლება დავასკვნათ, რომ იმპულსური სისტემის სიზუსტის გასაზრდელად უნდა გავზარდოს გახსნილი სისტემის ასმ - ი შემომავალი ზემოქმედების სიხშირეზე.

მეორე ხარისხის შესაბამისად შეიძლება გამოვიყენოთ ლსმ - ი, რომლებიც აგებულია დისკრეტულის გვ - ის მიხედვით და დამოკიდებულია  $w$  ცვლადზე. როგორც ცნობილია, ასეთი გვ - ი მიიღება  $W$  - გარდაქმნის გამოყენების შედეგად. ამის გაკეთება მიზანშეწონილია იმ შემთხვევაში, თუ სისტემას აქვს მთავარი ერთეულოვანი უკუკავშირი. მაშინ როდესაც მივიღებთ გახსნილი  $\overline{W}(w)$  სისტემის დისკრეტულ გვ - ს მისი მიხედვით, ვაგებთ ლასმ - ს და ლფსმ - ს. დამყარებულ რეჟიმში ცდომილების ამპლიტუდას ვპოულობთ უშუალოდ ლასმ - ი ფსევდოსიხშირეზე:

$$\omega_1^* = (2/T) \operatorname{tg}(\omega_1 T / 2).$$

რომელიც შეესაბამება შემავალი  $\omega_1$  ზემოქმედების სიხშირეს. როგორც წესი, კომპიუტერული მართვის სისტემა იგება იმგვარად, რომ სრულდება  $|W(j\omega_1^*)| \gg 1$ , ხოლო დროის მიხედვით დაკვანტვის პერიოდი აკმაყოფილებს პირობას  $\omega_1 \ll 2/T$ , მაშინ ცდომილების ამპლიტუდა დამყარებულ რეჟიმში განისაზღვრება (8-1) ფორმულის მიხედვით. ამავე დროს, ასმ - ის მნიშვნელობა აიღება უშუალოდ გახსნილი იმპულსური სისტემის ლასმ - დან. დამყარებული ცდომილების სიგნალის წანაცვლება ფაზით შემავალი ზემოქმედების სიგნალის ფაზასთან განისაზღვრება ფსევდოსიხშირის  $\omega_1^*$  ლფსმ - ის მიხედვით.

### 13. მექატრონული სისტემების მართვის მიკროპროცესორული სისტემები

მართვის მიკროპროცესორული სისტემები (მპს) ისინი წარმოადგენენ მიკრო - ეგმ ან გამოთვლით კომპლექსებს (გკ), რომლებიც შექმნილია მიკროპროცესორული კომპლექტის საფუძველზე (მკს) დიდი ინტეგრალურის სქემების (დის) და/ან ზედიდი (ზდის) ინტეგრალურ მიკროსქემას. მკს - ის შემადგენლობაში შესაძლებელია შედიოდნენ მიკროპროცესორული და ინტეგრალური სქემების სხვადასხვა სქემოტექნიკის სახეობები, თუკი ისინი იქნება თავსებადი არქიტექტურით, ელექტრული პარამეტრებით და კონსტრუქციული შესრულებით. მიკროპროცესორების გამოყენების არსი მდგომარეობს იმაში, რომ ისინი ცვლიან მცირე და საშუალო ინტეგრაციის მქონე ციფრულ ის - ს და ამით ანიჭებენ მოწყობილობებს, რომლებშიც ისინი გამოიყენება „ინტელექტუალურობის“ თვისებებით. მოწყობილობები და სისტემებს, რომლებიც აგებულია მიკროპროცესორების საფუძველზე, აქვთ ორი ძირითადი უპირატესობა იმ სისტემებთან შედარებით, რომლებიც რეალიზირებულია აპარატურული მოწყობილობის საშუალებით:

აქვთ გაცილებით მაღალი ფუნქციონალური მოქნილობა, ისე რომ მათი გადაწყობა ახალი ამოცანის გადასაწყვეტად მოითხოვს მხოლოდ პროგრამის შეცვლას აპარატურული ნაწილის შეცვლილების გარეშე;

- მოითხოვს ელემენტების ნაკლებ რაოდენობას, ვიდრე მოწყობილობები, რომლებიც მცირე და საშუალო ინტეგრაციის მქონე ლოგიკურ მიკროსქემებზე ფუნქციონირებს.

მპს - ბი განსხვავდება გამოყენების სფეროებით, არქიტექტურით და კონსტრუქციული შესრულებით:

- შემადგენლობა, მახასიათებლები და სტრუქტურული ორგანიზაცია (ურთიეთკავშირი) მპს - ის მოწყობილობებში.
- ფუნქციონირების პრინციპი.
- მანქანური ბრძანებების შემადგენლობა, ან ინსტრუქციები (მანქანური ენა).

თანამედროვე

- მეხსიერებაში შენახული პროგრამა;
- მპს - ის მოწყობილობების დამისამართებელი მიმართვა ერთმანეთთან;
- მაგისტრალურმოდულური სტრუქტურამპს - ბი ახდენს არქიტექტურის რეალიზაციას, რომელიც ხორცს ასხამს შემდეგ პრინციპებს:

მპს - ის მნიშვნელოვან მახასიათებელს წარმოადგენს ცენტრალური პროცესორების რიცხვი. ამ ნიშნით არჩევენ მპს - ის შემდეგ სახესხვაობებს:

- ერთპროცესორიანი სისტემები;
- მულტიპროცესორული სისტემები;
- მრავალმანქანური სისტემები (გამოთვლითი კომპლექსები);

შესაძლებელია გამოვყოთ ერთპროცესორიანი სისტემების ორი ძირითადი სახე:

- მიკრო - ეგმ, ორიენტირებული გარკვეულ სფეროში გამოყენებაზე, ამოცანების ჯგუფზე და/ან მომხმარებლებზე (უნივერსალურია). არსებობს უნივერსალური მიკრო-ეგმ - ის მრავალრიცხოვანი სახეობა ქსელურ საინფორმაციო-გამოთვლით სისტემებში: პერსონალური კომპიუტერები და სამუშაო სადგურები; სერვერები, მარშრუტიზატორები და კომუტატორები;

სპეციალიზებული მიკრო - ეგმ, ან მიკროკონტროლერი (მკ). სპეციალიზებული მიკრო - ეგმ განკუთვნილია გადასაჭრელად ერთი ან განსაზღვრული რაოდენობის დავალების მაქსიმალური შესაძლო ეფექტურობით. მიკროკონტროლერები გამოიყენება სხვადასხვა სისტემების სამართავად (ინგლისურიდან control –მართვა). მულტიპროცესორული სისტემები ხასიათდება იმით, რომ ყოველი პროცესორი შედარებით დამოუკიდებლად ასრულებს თავის პროგრამას, ამასთანავე საერთო ოპერატიული სისტემა (ოს) ანაწილებს დატვირთვას პროცესორებს შორის. ურთიერთქმედება პროცესორებს შორის ხორციელდება საერთო ოპ - ს მეშვეობით. ოს ანაწილებს საერთო პერიფერიულ მოწყობილობებს პროცესებს შორის. ამგვარად გვაქვს საშუალება დავაპარალელოდ გამოთვლითი პროცესი, ხოლო რომელიმე პროცესორის მტყუნების შემთხვევაში ოპერატიულად გადავანაწილოთ სამუშაო დარჩენილ პროცესორებს შორის. ასეთი ორგანიზაციის დახმარებით ვაღწევთ მაღალ წარმადობას და მდგრადობას მტყუნებების მიმართ.

### 13.1 უნივერსალური მიკროპროცესორები

მიკროპროცესორი (მპ) წარმოადგენს პროგრამულად მართვად ობიექტს, რომელიც განკუთვნილია ციფრული ინფორმაციის დასამუშავებლად. მიკროპროცესორის ტიპურ შემადგენელ ნაწილებს წარმოადგენენ მართვის ბლოკი, რეგისტრები, ამჯამავეები, ბრძანებების მრიცხველები და მცირე მოცულობის ძალიან სწრაფი მეხსიერება (კემ-მეხსიერება, ჩვეულებრივ სტატიკური ტიპის). ზოგიერთ მიკროპროცესორს ემატება სოპროცესორი, რომელიც აფართოებს მიკროპროცესორის შესაძლებლობებს და შესასრულებელი ბრძანებების ნაკრებს.

უნივერსალური მიკროპროცესორები განკუთვნილია გამოთვლით სისტემებში გამოსაყენებლად: პერსონალურ კომპიუტერში, მუშა სადგურებში. როგორც წესი, უნივერსალურ მპ - ში ჩადებული ტექნიკური გადაწყვეტილებები პირველ რიგში ემსახურება ამოცანის გადაწყვეტას რომ მივიღოთ მაქსიმალური სწრაფმოქმედება, მეორე

ამოცანას წარმოადგენს მინიმუმიზაცია მოხმარებული სიმძლავრის და ღირებულების. მკ ხასიათდება შემდეგი პარამეტრებით. ტაქტური სიხშირე - სიგნალების გამეორების სიხშირე, რომლებიც ახდენენ სინქრონიზაციას კომპიუტერის მიკროსქემების. ეს სიგნალები გამომუშავდება ცენტრალური პროცესორის ტაქტური გენერატორით და გამოიყენება დროის ერთიანი სტანდარტის შესაქმნელად, რათა ვმართოთ ყველა პროცესი რომელიც მომდინარეობს კომპიუტერის მოწყობილობებში.

თანრიგალობა - თანრიგების მაქსიმალური რაოდენობა ორობითი კოდის (ბიტი) რომელთანაც მუშაობა ერთდროულად შეუძლია მოწყობილობას.

რეგისტრები - მეხსიერების უჯრედები მიკროპროცესორის შიგნით, რომელთაგანაც ყოველ მათგანში შესაძლებელია შევინახოთ ერთი რიცხვი. რიცხვების დიაპაზონი, რომლებიც შესაძლებელია შევინახოთ რეგისტრში, დამოკიდებულია მისი თანრიგების რაოდენობაზე. რამდენადაც რეგისტრები განლაგებულია უშუალოდ მიკროპროცესორის კრისტალზე, მათთან მიმართვის დრო ძალიან მცირეა და ამიტომ ისინი შესაძლებელია ჩავთვალოთ ზეოპერატიულ დამამახსოვრებელ მოწყობილობად დმ.

კემ-მეხსიერება-ბუფერული მეხსიერებაა, რომელშიც მონაცემები ინახება მათ მისამართებთან ერთად ძირითად მეხსიერებაში. კემ - მეხსიერებას აქვს პატარა მოცულობის მეხსიერება, პატარა წვდომის დრო და გამოიყენება ძირითადი მეხსიერებისაგან განცალკევებით. მისი გამოყენება საშუალებას გვაძლევს შევამციროთ მიმართვების რიცხვი ძირითად ოდმ - თან.

ინსტრუქცია - ბრძანება, უთითებს მიკროპროცესორს მოქმედებაზე, რომელიც აუცილებელია შესრულდეს.

ოპერანდა - სიდიდე, წარმოადგენს ოპერაციის ობიექტს, რომელსაც ასრულებს ეგმ.

განვიხილოთ მიკროპროცესორების კლასიფიკაცია. ასე რადგანაც ამოცანები, რომელსაც ასრულებენ მიკროპროცესორები, ძალიან განსხვავებულია, ამავედროულად პროგრამისაგან დამოკიდებულებით ერთიდაიგივე მკ ახორციელებს ერთმანეთისაგან სრულიად განსხვავებულ ფუნქციებს, ამიტომ მიღებული რომ მიკროპროცესორების კლასიფიკაცია წარმოებდეს მათი წარმადობის მიხედვით.

ინტელექტუალური მექატრონული მოდულები ახდენს ყველა შვიდივე ფუნქციონალური გარდაქმნის რეალიზაციას, ამ მოდულებში სტრუქტურულ-კონსტრუქციული ინტეგრაცია ხორციელდება ყველა ინტერფეისულ წერტილში.

ყველა შემთხვევაში ინტელექტუალური მექატრონული მოდული შედგება შემდეგი ძირითადი ელემენტებისაგან:

- ელექტრო - ( ან, მაგალითად, ჰიდრო ) ძრავისაგან;
- მექანიკური მოწყობილობა;

- პირველადი გარდამსახეები და უკუკავშირის მოწყობილობები;
- კომპიუტერული მართვის მოწყობილობა;
- ელექტრონული ძალური გარდამქმნელები;
- ინტერფეისი მაღალი დონის მართვის კომპიუტერთან დასაკავშირებლად, და აგრეთვე შიგა ინტერფეისები;

ინტელექტუალური მექატრონული მოდულების გამოყენების ძირითად უპირატესობას წარმოადგენს:

- უნარი ასრულოს რთული მოძრაობები დამოუკიდებლად მაღალ დონესთან მიმართვის გარეშე, რაც ამაღლებს მოდულების ავტონომიურობას მოქნილობას და სიცოცხლისუნარიანობას მექატრონული სისტემების;

კომუნიკაციის გამარტივება მოდულებს შორის და მართვის ცენტრალურ მოწყობილობასთან მაგალითად, უკაბელო კომუნიკაციების გამოყენებით), რაც საშუალებას გვაძლევს, მივაღწიოთ მექატრონული სისტემის მედეგობის

- გაზრდას ხელშემშლის მიმართ და მისი უნარის სწრაფი რეკონფიგურაციის;
- სისტემის საიმედოობის და უსაფრთხოების ამაღლება შესაძლებელი გახდა გაუმართაობის კომპიუტერული დიაგნოსტიკის საშუალებით და ავტომატური დაცვით ავარიულ სიტუაციებში და მუშაობის არასაშტატო რეჟიმში;
- მართვის განაწილებული სისტემის შექმნა კომპიუტერული მართვით და ქსელური ტექნოლოგიებით;
- მართვის თანამედროვე მეთოდების გამოყენება (პროგრამული, ადაპტიური, ინტელექტუალური, ოპტიმალური) უშუალოდ შემსრულებლის დონეზე მართვის ხარისხის ასამაღლებლად კონკრეტულ რეალიზაციებში;
- ინტელექტუალიზაცია ძალური გარდამქმნელების მოდულის დასაცავად ავარიულ რეჟიმებში დიაგნოსტიკა გაუმართაობების;
- ინტელექტუალიზაცია სენსორების მექატრონული მოდულებისათვის საშუალებას გვაძლევს მივაწიოთ გაზომვის უფრო მაღალ სიზუსტეს, პროგრამული გზით უზრუნველვყოთ თვითონ სესორულ მოდულში ხმაურის ფილტრაცია, კალიბრირება, გაწრფივება შეტანა/გმოტანის მახასიათებლების, კომპენსაცია გადაჯვარედინებული კავშირების, ჰისტერეზისა და ნულის დრეიფს.

მექატრონულ მოდულში ინტელექტუალური მოწყობილობების ჩაშენება უშუალოდ იწვევს გარკვეულ შედეგებს. მათ მიეკუთვნება მოდერნიზაციის სირთულე, მოძრაობის მოდულის მასის და ზომის მაჩვენებლების გაზრდა ამძრავებთან შედარებით, სადაც მართველი და

ელექტრონული მოწყობილობები ცალკ-ცალკე განლაგებული. ნახ. 13.1

წარმოდგენილია მექატრონული მოდული, მაგალითად Siemens - ის ფირმის „Simodrive



Posmo SI". ამ მოდულის განმასხვავებელ ნიშანს წარმოადგენს ის რომ, ძალური გარდამსახი და მართველი მოწყობილობა კონსტრუქციულად გაერთიანებული არიან ძრავში. შტეკერული ტექნიკის დახმარებით ხორციელდება მიერთება ცოფრული შესასვლელებისა და დიაგნოსტიკური სიგნალებისა, აგრეთვე ელექტრული კავშირი ძრავსა ძალურ გარდამქმნელს შორის. კავშირი მართვის ცენტრალურ მოწყობილობასა სხვა მოდულებს შორის მყარდება სტანდარტული სალტის "PROFIBUS" - ის მეშვეობით.

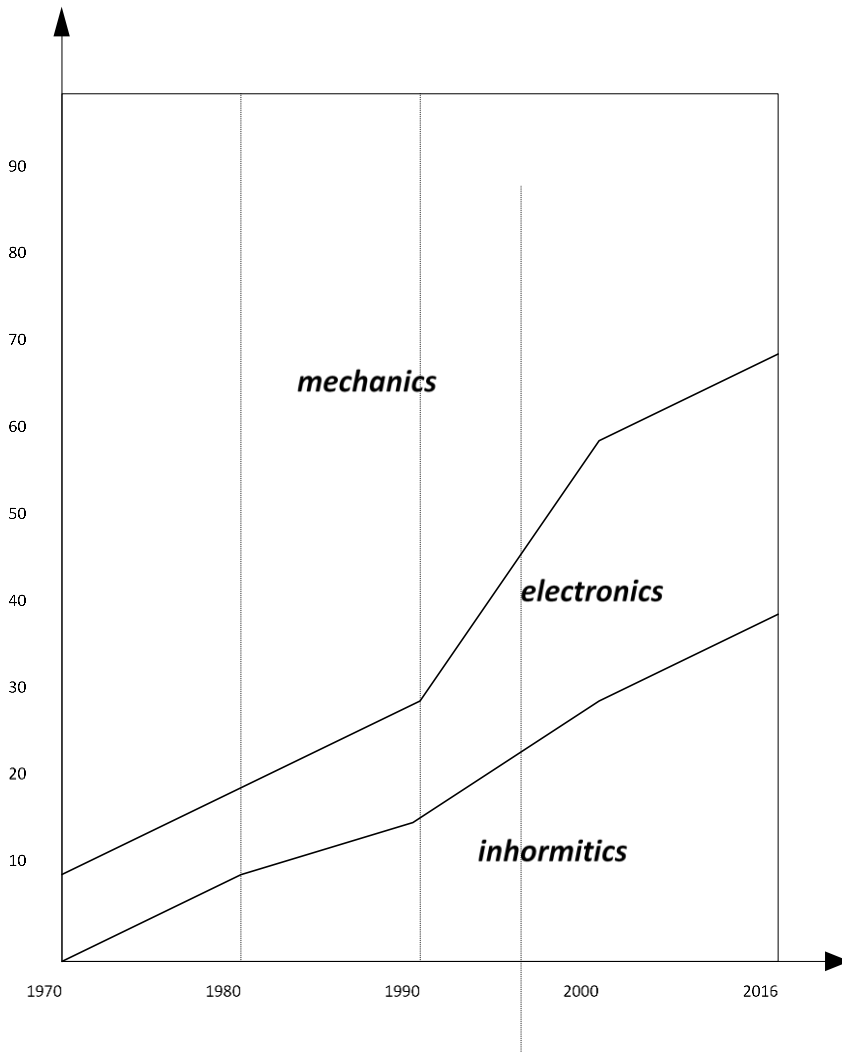


ნახატი 13.1 - Siemens - ის ფირმის მექატრონული მოდული

#### 13.4 ინტელექტუალურ მოწყობილობებზე ფუნქციური დატვირთვის გადატანა

პროექტირების საფეხურზე ხორციელდება გადანაწილება მექატრონული სისტემის ფუნქციების მექატრონული სტრუქტურულ ელემენტებს შორის. მანქანების აწყობისას თანამედროვე ტენდენცია მდგომარეობს ფუნქციური დატვირთვის გადატანის მექანიკური მოწყობილობებიდან ინტელექტუალურ (ელექტრონულ, კომპიუტერულ და ინფორმაციულ) კომპონენტებზე, რომლებიც შედარებით იაფია და ადვილად გადაპროგრამდება ახალ ამოცანაზე. განხილული ინტეგრაციის მეთოდის გამოყენება საშუალებას გვაძლევს, მოვახდინოთ მინიმიზაცია მექატრონული სისტემის მექანიკური სირთულისა.

ნახატ 13.2 წარმოდგენილია გრაფიკი რომელიც გვიჩვენებს ამ პროცესის დინამიკას საწარმოო მოწყობილობებში უკანასკნელ ათწლეულებში. ანალიზი გვიჩვენებს, რომ XX საუკუნის 90 - იან წლებში საწარმოო მოწყობილობების ფუნქციების რეალიზაცია (70% - ზე მეტი) ხდებოდა მექანიკური გზით, ხოლო თანამედროვე მექანიკური მოწყობილობები უფრო ხშირად ვიწრო ადგილად რთულ მანქანებში. ეს აიხსნება მათი არასაკმარისი ფუნქციური მოქნილობით



ნახატი 13.2

ხახუნის, ლუფტების და სიმყარის არსებობა გადაცემებში, დამზადების შედარებით დიდი ღირებულება.

ამიტომ შემდგომ ათწლეულებში თანდათანობით ხდებოდა მექანიკური კვანძების გამოდევნა თავიდან ელექტრონული შემდეგ კომპიუტერული მოწყობილობებით. მექატრონულ სისტემებში გამარტივდა მექანიკური ამოცანების გადაჭრა, მაგრამ გამოიყენება მართვის რთული ინტელექტუალური სისტემები.

## სატესტო კითხვები

1. რა არის ტაიმერი და რა როლს ასრულებს იგი კომპიუტერული მართვის სისტემებში?
2. რა არის იმპულსური სისტემა?
3. რას წარმოადგენს დროითი დაკვანტვის პერიოდი?
4. რა არის რეგისტრი და რისთვის გამოიყენება იგი კომპიუტერული მართვის სისტემებში?
5. რა არის აცგ - ს ორობითი კოდის უმცროსი თანრიგის (წონა) ფასი?
6. როგორ არის დაკავშირებული აცგ - ს გადაცემის კოეფიციენტი  $K_{აგვ}$ , რომელიც მიღებულია მისი სტატისტიკური მახასიათებლის გაწვრივებით, აცგ - ს ორობითი კოდის უმცროსი თანრიგის (წონასთან) ფასთან?
7. რომელი პირობის შესრულებისას შეიძლება ჩათვალოს, რომ მოძრაობის მართვის კომპიუტერული სისტემა მუშაობს რეალურ დროში?
8. რას წარმოადგენს სხვაობითი ტოლობა?
9. რა არის დამკვანტავი და როგორ გამოიყურება იდეალური დამკვანტავის მათემატიკური მოდელი?
10. რა არის ფიქსატორი და როგორ გამოიყურება მაფორმირებელი ელემენტის ფუნქცია?
11. რა არის იმპულსური სისტემის დაყვანილი უწყვეტი ნაწილი?
12. რა არის ლაპლასის დისკრეტული გარდაქმნა და როგორ გამოიყურება ლაპლასის პირდაპირი დისკრეტული გარდაქმნის ფორმულა?
13. რას წარმოადგენს იმპულსური სისტემის დისკრეტული გადამცემი ფუნქცია?
14. რას გვიჩვენებს  $1 - Z^{-1}$  ან  $Z - 1$  ელემენტების არსებობა იმპულსური სისტემის დისკრეტული გადამცემი ფუნქციის მნიშვნელში?
15. რას წარმოადგენს ფიქტური დამკვანტავი და რისთვის არის ის საჭირო?
16. რომელი პირობის შესრულებისას ემთხვევა იმპულსური სისტემის დაყვანილის უწყვეტი ნაწილის დისკრეტული გადამცემი ფუნქცია ამ სისტემის უწყვეტი მართვის ობიექტის გადამცემ ფუნქციას?
17. დაასახელეთ პირობა, რომლის დროსაც იმპულსური სისტემა ითვლება ასიმპტოტურად მდგრადად.
18. როგორ გამოიყურება  $\gamma$  - ური რიგის ასტატიზმის მქონე გახსნილი იმპულსური სისტემის დისკრეტული გადამცემი ფუნქციის მნიშვნელი?
19. შემავალი ზემოქმედების აღმწერი  $P$  პოლინომის რომელი მაქსიმალური ხარისხისას  $\gamma$  - ური ხარისხის ასტატიზმის მქონე იმპულსურ სისტემას ექნება ნულოვანი ცდომილება დამყარებულ რეჟიმში?
20. რა არის საჭირო რათა გავზარდოთ მიმყოლი იმპულსური სისტემის მიერ დისკრეტული მავალელები ჰარმონიული ზემოქმედების გადამუშავების სიზუსტე?
21. აცმ - ს შესასვლელზე რა მიზნით გამოიყენება ანალოგური ფილტრი?
22. რა არის ფსევდოსიხშირე  $\omega^*$  და როგორ არის იგი დაკავშირებული წრიულ სიხშირე  $\omega$  - სთან?
23. რა როლს ასრულებს უწყვეტი ანალოგი კომპიუტერული მართვის სისტემის ანალიზის დროს?

# სარჩევი

## I ნაწილი

შესავალი.....	3
თავი 1. მექატრონიკა, მისი განვითარების წინაპირობები და მექატრონული სისტემების გამოყენების სფეროები	
1.1. მექატრონიკის განსაზღვრება და ტერმინოლოგია.....	4
თავი 2. მექატრონული სისტემების ჩამოყალიბების კოცეფცია	
2.1. მექატრონული სისტემების ძირითადი არსი .....	13
2.2. მექატრონული სისტემების ინტეგრაციის სტრუქტურა და პრინციპები .....	15
თავი 3. მექატრონული მოძრაობის მოდულები .....	25
3.1 მოტორ-რედუქტორები .....	26
3.2. ბრუნვითი მოძრაობის მექატრონული მოდულები მაღალმომენტიანი ძრავების ბაზაზე .....	28
3.3. წრფივი მოძრაობის მექატრონული მოდულები .....	32
3.4 „ძრავი-მუშა ორგანო“ ტიპის მექატრონული მოდულები.....	33
3.5. მოძრაობის ინტელექტუალური მექატრონული მოდულები.....	36
3.5.1. მოძრაობის კონტროლიორები (მონიტორინგი).....	37
3.5.2. ინტელექტუალური ძალური მოდულები.....	45
3.5.3. მექატრონული მოდულებისა და სისტემების ინტელექტუალური სენსორები...47	
თავი 4. თანამედროვე მექატრონული სისტემები .....	54
4.1. მობილური რობოტები მიწისქვეშა მილსადენების ინსპექციისა და რემონტისათვის .....	54
4.2. ლაზერული რობოტოტექნიკური კომპლექსი.....	57
4.3 მექანიკური დამუშავების რობოტოტექნიკური კომპლექსი.....	59
ეტაპი 1. დეტალის კომპიუტერული მოდელის დამუშავება პროგრამა Auto CAD-ში..	63
ეტაპი 2. რობოტოტექნოლოგიური სისტემის მოძრაობის დაგეგმვა.....	64
ეტაპი 3. მმართველი პროგრამის ავტომატური ჩატვირთვა.....	64
ეტაპი 4. პროგრამების შესრულება.....	64
4.1. ტექნოლოგიური მანქანები–ჰექსაპოდები.....	65
4.2. სატრანსპორტო მექატრონული საშუალებები.....	68

## II ნაწილი

1. შესავალი.....	70
თავი 5. ძირითადი ცნებები და განსაზღვრებები მექატრონული სისტემების კომპიუტერული მართვის სფეროში.....	71
5.1. კომპიუტერული მართვით მექატრონული სისტემების დანიშნულება და მოქმედების პრინციპი;.....	71
5.2. კომპიუტერული მართვის სისტემების განზოგადოებული სტრუქტურა;.....	79
5.3. კომპიუტერული მართვის სისტემების ძირითადი თავისებურებები.....	82
5.4. კომპიუტერული მართვის სისტემის უპირატესობები ანალოგური მართვის სისტემებთან შედარებით: .....	84
თავი 6. მოძრაობის კომპიუტერული მართვის სისტემების აპარატურული უზრუნველყოფა .....	86
6.1. კომპიუტერული მართვის სისტემის შემადგენლობაში მმართველი კომპიუტერის განსაზღვრა;.....	86
6.2. ინფორმაციის წარმოდგენა მმართველ კომპიუტერში.....	86
6.3. კომპიუტერის ინფორმაციის შენახვის საბაზისო ელექტრონული მოწყობილობები.....	87
6.4. მექატრონული სისტემების კომპიუტერული მართვის სისტემებში გამოყენებული კომპიუტერების ტიპები.....	93
6.5. მექატრონული სისტემების მართვის კომპიუტერული სისტემები კომპიუტერის ძირითადი აპარატურული კომპონენტები.....	93
6.6. მოთხოვნები მექატრონული სისტემების კომპიუტერული მართვის სისტემების კომპიუტერის აპარატურისადმი .....	94
თავი 7. ციფრულ - ანალოგური და ანალოგურ - ციფრული გარდამქმნელების სტატიკური და დინამიკური მახასიათებლები.....	95
7.1. ეცგ -ს მოდელი.....	95
7.2. ცაგ - ის მოდელი.....	98
7.3. ცაგ - ის და ეცგ - ს სტატიკური მახასიათებლების გაწრფივება.....	99
თავი 8. მექატრონული სისტემების კომპიუტერული მართვა. მოძრაობის მართვა რეალურ დროში.....	99
8.1. მართვის ციკლის ხანგრძლივობის გავლენა იმპულსური სისტემის პროცესებზე.....	101
8.2. მოთხოვნები, რომლებიც წაყენება მართვის ციკლის ხანგრძლივობის შერჩევა მართვის რეალურ დროში განსახორციელებლად.....	106
8.3. წყვეტის გამოყენება რეალურ დროში მართვის განხორციელებისათვის.....	107
8.4. რეალური დროის ოპერაციული სისტემები.....	112

თავი 9. კომპიუტერული მართვის სისტემების სიგნალების და ფუნქციური ელემენტების მათემატიკური აღწერა.....	113
9.1. დისკრეტული სიგნალების მათემატიკური აღწერა. ცხატური ფუნქცია.....	113
9.2. სასრული სხვაობები და სასრული ჯამები.....	115
9.2.1. სასრული სხვაობები.....	115
9. 2. 2. სასრული ჯამები.....	118
9. 3. სხვაობითი განტოლებები.....	119
9.4. სხვაობითი ტოლობების ამოხსნა.....	121
9.5. დაკვანტვის მათემატიკური მოდელი.....	124
9.6. ფიქსატორის მათემატიკური მოდელი .....	132
9. 7. მაფორმირებელი ელემენტის მოდელი და იმპულსური სისტემის დაყვანილი უწყვეტი ნაწილი.....	136
თავი 10. ლაპლასის დისკრეტული გარდასახვის გამოყენება კომპიუტერული მართვის სისტემების აღსაწერად .....	137
10.1. ლაპლასის დისკრეტული გარდაქმნა დროის ცხატური ფუნქციებისათვის შეიძლება გამოყენებული იქნას ლაპლასის დისკრეტული გარდაქმნა.....	137
10.2. Z - გარდაქმნა.....	139
10.3. ლაპლასის გარდაქმნის განსაკუთრებულებები.....	142
10.4. ლაპლასის დისკრეტული გარდაქმნის მნიშვნელოვანი თვისებები .....	144
10.5. შებრუნებული Z - გარდაქმნა.....	146
თავი 11 იმპულსური სისტემების დისკრეტული გადამცემი ფუნქციები.....	151
11.1. იმპულსური სისტემის დისკრეტული გადამცემი ფუნქციის წარმოდგენა.....	151
11.2. დისკრეტული გადამცემი ფუნქციის განსაზღვრის მაგალითები.....	153
11.3. დისკრეტული გადამცემი ფუნქციები დაყვანილი უწყვეტი ნაწილების და მართვის ღია იმპულსური სისტემის ამოცანის დაყენება და პრობლემა.....	159
11.4. ღია სისტემის იმპულსური დისკრეტული გადამცემი ფუნქცია მმართველი კომპიუტერის მუშაობის ალგორითმის გათვალისწინებით.....	168
11.5. ჩაკეტილი იმპულსური სისტემის დისკრეტული გადამცემი ფუნქციები.....	170
11.6. იმპულსური სისტემის უწყვეტი დაყვანილი ნაწილების დისკრეტული გადამცემი ფუნქციების განსაზღვრის პრაქტიკული საშუალებები.....	172
11.7. მაგალითები იმპულსური ნაწილის დაყვანილი უწყვეტი ნაწილების დისკრეტული გადამცემის ფუნქციების .....	177
11.8. მაგალითი იმპულსური სისტემის აღწერისა შემსრულებელი მუდმივი დენი ძრავით.....	181
თავი 12. კომპიუტერული მართვის სისტემის მდგრადობისა და სიზუსტის გამოკვლევა.....	187
12.1. კომპიუტერული მართვის სისტემის მდგრადობა.....	187

12. 2. იმპულსური სისტემების მდგრადობის კრიტერიუმები.....	191
12. 2. 1. მდგრადობის გურვიცის კრიტერიუმი.....	191
12. 2. 2. მდგრადობის ნაიკვისტის კრიტერიუმი.....	196
12.3. იმპულსური სისტემების სიზუსტის ანალიზი.....	198
12.3.1. იმპულსური სისტემის სიზუსტის ანალიზი პოლინომური ზემოქმედებისას.....	199
12. 3. 2. იმპულსური სისტემების სიზუსტის ანალიზი მასზე დროში დისკრეტული ჰარმონიული ზემოქმედებისას.....	201
თავი 13. მექატრონული სისტემების მართვის მიკროპროცესორული სისტემები.....	204
13.1 უნივერსალური მიკროპროცესორები.....	205
13.4 ინტელექტუალურ მოწყობილობებზე ფურქციური დატვირთვის გადატანა.....	208
სატესტო კითხვები.....	210

## ლიტერატურა

1. დ. ადამია, ლ. თედიაშვილი მექატრონიკის საფუძვლები. სალექციო კურსი. 70 გვ. (ელექტრონული ვერსია.) CD 794 2012
2. ი. შურღაია მექატრონული სისტემების კომპიუტერული მართვა. სალექციო კურსი 116 გვ. (ელექტრონული ვერსია.) CD 3408 2017
3. ო. რუხაძე, დ. ადამია მექატრონიკის საფუძვლები სალექციო კურსი 177 გვ. (ელექტრონული ვერსია), 2017
4. ვ. ქირია, ი. შურღაია მეთოდური მითითებები ლაბორატორიული სამუშაოების შესასრულებლად მიკროპროცესორულ ტექნიკაში. (ელექტრონული ვერსია.) CD 3779 2017
5. Bishop R.H. The Mechatronics Handbook. 2002 Rolf Iserman Mechatronic Systems Fundamentals. p 617 2005
6. Подураев Ю.В. Мехатроника Основы методов применения, 2010 стр. 256
7. Корендясев А.Г. Теоретические основы робототехники 2011 стр. 106.



რედაქტორი ბ. ცხადაძე

გადაეცა წარმოებას 21.03.2018. ხელმოწერილია დასაბეჭდად 02.04.2018. ქალაქის ზომა 60X84  
1/8. პირობითი ნაბეჭდი თაბახი 13,5.

საგამომცემლო სახლი „ტექნიკური უნივერსიტეტი“, თბილისი, კოსტავას 77



Verba volant,  
scripta manent