

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

ხელნაწერის უფლებით

ივანე ეპიტაშვილი

რხევითი სისტემების პარამეტრების გაზომვის საშუალებების  
კვლევა და ანალიზი

სადოქტორო პროგრამა „მართვის სისტემები, ავტომატიზაცია და ტესტ-  
ინჟინერინგი“

შიფრი 0403

დოქტორის აკადემიური ხარისხის მოსაპოვებლად წარდგენილი  
დისერტაციის

ავტორეფერატი

თბილისი, 2018 წელი

სამუშაო შესრულებულია საქართველოს ტექნიკურ უნივერსიტეტში  
ინფორმატიკისა და მართვის სისტემების ფაკულტეტი  
მიკროპროცესორული და საზომი სისტემების დეპარტამენტი

ხელმძღვანელი: პროფ. ზ. აზმაიფარაშვილი

რეცენზენტები: \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

დაცვა შედგება \_\_\_\_\_ წლის \_\_\_\_\_, \_\_\_\_\_ საათზე  
საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_ საუნივერსიტეტო სადისერტაციო საბჭოს სხდომაზე,  
კორპუსი \_\_\_\_\_, აუდიტორია \_\_\_\_\_  
მისამართი: 0175, თბილისი, კოსტავას 77.

დისერტაციის გაცნობა შეიძლება სტუ-ის ბიბლიოთეკაში,  
ხოლო ავტორეფერატისა - ფაკულტეტის ვებ-გვერდზე

სადისერტაციო საბჭოს მდივანი - პროფ. თინათინ კაიშაური

*თემის აქტუალობა.* გაზომვის რადიოტალღური მეთოდები და ხელსაწყოები ფართოდ გამოიყენება ტექნოლოგიური პროცესების კონტროლისა და ავტომატიზაციისათვის.

რადიოტალღური საზომი ხელსაწყო შედგება შემდეგი მთავარი ნაწილებისაგან: მგრძნობიარე ელემენტის სენსორისაგან, რომელშიც ხორციელდება კონტროლირებადი სიდიდის ინფორმაციულ პარამეტრად პირველადი ტრანსფორმაცია; მაღალსიხშირული ან ზემაღალსიხშირული გენერატორისაგან, იგი არის წყარო ელექტრომაგნიტური რხევებისა, რომელთა თვისებები იცვლება მგრძნობიარე ელემენტში კონტროლირებად ობიექტთან ურთიერთქმედებისას; მეორადი გარდამქმნელისაგან, რომელშიც ხორციელდება მაღალსიხშირული ან ზემაღალსიხშირული სიგნალის გადამუშავება, ასევე გამოთვლითი ოპერაციები და საჭირო სიგნალებში გარდაქმნა გადაცემისა და რეგისტრაციისათვის.

თანამედროვე ეპოქაში სულ უფრო და უფრო დიდ მნიშვნელობას იძენს ახალი მართვადი რხევითი კომპლექსების და ტექნოლოგიური დანადგარების სრულყოფა და ავტომატიზაცია. ყველაზე ტრადიციული დარგებიდან, რომლებიც სარგებლობენ და პრაქტიკაში იყენებენ რხევითი სისტემების შემცველ მოწყობილობებს, აღსანიშნავია: მანქანათმშენებლობა, მშენებლობა, ავიაცია, აგრარული, ქიმიური და საფეიქრო მრეწველობა. გარდა ამისა, მნიშვნელოვნად დიდია იმ სპეციალიზებულ ამოცანათა სპექტრი, რომლებიც მოითხოვენ რხევითი სისტემის მახასიათებლების მაღალი სიზუსტით განსაზღვრას მართვის მოწყობილობებსა და სისტემებში.

რეალურ პირობებში პარამეტრები განიცდიან ცვლილებას, ამიტომ მნიშვნელოვანია ისეთი მოწყობილობის შექმნა, რომლის ელემენტების ერთობლიობა უზრუნველყოფს რხევითი სისტემის ძირითადი ინფორმაციული პარამეტრების მაღალი სიზუსტით განსაზღვრას და საიმედო შენახვას.

*ნაშრომის ძირითად მიზანს წარმოადგენს* დიდი ელექტრომაგნიტური დანაკარგების მქონე რხევითი სისტემების ძირითადი ინფორმაციული პარამეტრების განსაზღვრის მეთოდებისა და საშუალებების დამუშავებას და კვლევას, როდესაც ადგილი აქვს რხევითი სისტემის რეზონანსული მრუდის ამპლიტუდისა და ფორმის ფართო საზღვრებში ცვლილებას.

*კვლევის ობიექტია* რხევითი სისტემების პარამეტრების გაზომვის საშუალებები, მათი შედარებითი ანალიზი, DDS სინთეზატორის ბაზაზე აგებული საწვავის მარაგის რეზონანსული მზომი მოწყობილობა.

*ნაშრომის ძირითადი მეცნიერული სიახლეა* მართვის მოწყობილობებისათვის, განკუთვნილი უპირატესად დაბალი ვარგისიანობის მქონე რხევითი სისტემის ძირითადი ინფორმაციული პარამეტრის მაღალი სიზუსტით განსაზღვრის და ინფორმაციის გადამუშავების მეთოდების და საშუალებების კვლევა და ანალიზი, ანალიტიკურ-იმიტაციური მოდელის შედგენა, მოწყობილობის დამუშავება, რის შედეგადაც შეგვიძლია გამოვიკვლიოთ ძირითადი ცდომილებები და გამოვამჟღავნოთ ისეთი შემადგენელი ბლოკები, რომლებიც არსებითად მოქმედებს სიზუსტეზე, გარდა ამისა ნაშრომში შემოთავაზებული მიკროპროცესორული მზომის დინამიური მახასიათებლები, როგორცაა მაგალითად, გაზომვის დრო მოცემული სიზუსტის მიხედვით და მათი კომბინაცია, დროითი ფაქტორი სიზუსტის ცვლილებით.

*ნაშრომის პრაქტიკულ ღირებულებას წარმოადგენს* მოწყობილობა, რომელიც საშუალებას იძლევა, მაღალი სიზუსტით განსაზღვროს რხევითი სისტემის პარამეტრები, აღნიშნული მოწყობილობა შეიძლება დამონტაჟდეს ბენზოგასამართ სადგურებზე, ასევე მოძრავ ობიექტებზე, მაგალითად თანამგზავრებზე და სხვა საფრენ აპარატებზე (მაგ. რაკეტებზე).

*ნაშრომის სტრუქტურა და მოცულობა.* სადისერტაციო ნაშრომი შედგება ორენოვანი რეზიუმესაგან, შესავლის, ლიტერატურის მიმოხილვის, კვლევის, შედეგებისა და მათი განსჯისაგან, ძირითადი დასკვნებისა და 41

ერთეული გამოყენებული ლიტერატურისაგან. ნაშრომში განთავსებულია 16 ნახაზი, მასალა გადმოცემულია 102 გვერდზე.

**ნაშრომის აპრობაცია.** ნაშრომის შედეგები მოხსენებული იყო 2 საერთაშორისო სამეცნიერო კონფერენციაზე, სადისერტაციო ნაშრომის ძირითადი მასალები გამოქვეყნებულია სამ სამეცნიერო სტატიაში.

#### ნაშრომის ძირითადი შინაარსი

შესავალში დასაბუთებულია თემის აქტუალობა, განსაზღვრულია საკვლევი სფერო, კვლევის ობიექტი და კვლევის მეთოდები.

ლიტერატურის მიმოხილვაში გადმოცემულია დისერტაციაში განსახილველი საკითხების შესახებ არსებული მიდგომების ზოგადი მიმოხილვა.

არსებული მეთოდები და საშუალებები, რომლებიც განკუთვნილია რხევითი სისტემის პარამეტრების განსაზღვრისათვის, სისტემის ვარგისობის  $Q > 20$  შემთხვევაში უზრუნველყოფენ პარამეტრების დადგენას 1.5-5% ცდომილებით. დაბალვარგისიანი სისტემებისთვის  $Q < 20$  სიზუსტის მახასიათებლები ბევრად უარესდება, ხოლო ზოგიერთ შემთხვევებში სრულიად ვერ ხერხდება საძიებელი პარამეტრების განსაზღვრა, კერძოდ, რხევითი სისტემების საკუთარი სიხშირის მნიშვნელობისა.

განხილული მეთოდებიდან პრაქტიკაში ყველაზე მეტად მისაღებია განშლადი მეთოდი და ამ მეთოდზე დაფუძნებული საშუალებები, რადგან სხვა მეთოდებისაგან განსხვავებით, გაზომვის ცდომილება დაბალი ვარგისიანობის მქონე რხევითი სისტემისათვის შედარებით უფრო მცირეა.

განშლადი მეთოდის ნაკლს წარმოადგენს გარდაქმნის დაბალი სიზუსტე. გავრცელებულ საშუალებებს, რომლებიც უწევენ რეალიზებას აღნიშნულ მეთოდს, შეიცავს ხაზოვნად ცვლადი ძაბვის გენერატორი, მაღალ სიხშირიანი გენერატორი, სიხშირიანი მოდულატორი. შემადგენელი

ბლოკების გარდაქმნის ეფექტურობა და ხშირ შემთხვევაში ინფორმაციული პარამეტრების განსაზღვრის პროცესის ავტომატიზაციის არქონა.

რხევითი სისტემის პარამეტრების განსაზღვრის მრავალარხიან სისტემებში ინფორმაციის დამუშავების ალგორითმები მკაცრ ლოგიკაზე დაყრდნობით არის შესრულებული, რაც დიდ აპარატულ დანახარჯებს მოითხოვს. ამას დამატებით შეაქვს ინსტრუმენტალური ცდომილებები და ამცირებს მთლიანობაში სისტემის სანდოობას. მიზანშეწონილია, რომ მრავალარხიანი ინვარიანტული სისტემების რეალიზება მოხდეს მიკროპროცესორული ტექნიკის ბაზაზე, რაც მონაცემების დამუშავების უფრო რთული ალგორითმების გამოყენების საშუალებას იძლევა. ამასთან მცირდება მოთხოვნები მოწყობილობის ანალოგური ნაწილისადმი და მოწყობილობის მაღალი საექსპლუატაციო მახასიათებლების სიზუსტის უზრუნველყოფა არის შესაძლებელი.

ყველა განხილულ მეთოდს გააჩნია საერთო ნაკლი - პარამეტრების განსაზღვრის ცდომილება, რომელიც რხევითი სისტემის ამპლიტუდურ-სიხშირული მახასიათებლის ასიმეტრიით არის გამოწვეული, რასაც პრაქტიკაში ყოველთვის აქვს ადგილი. ასიმეტრია განსაკუთრებით ვლინდება რხევითი სისტემის ვარგისიანობის მცირე მნიშვნელობებით, რაც რხევითი სისტემის საკუთარი სიხშირის მაღალი სიზუსტის განსაზღვრისა და შენახვის პრობლემას ქმნის.

კვლევაში, შედეგებში და მათ განსჯაში, რხევითი სისტემის საკუთარი სიხშირის განსაზღვრისა და კვლევისათვის შედგენილია სპეციალური ანალიტიკურ-იმიტაციური მოდელი, შემოთავაზებულია რხევითი სისტემის ძირითადი ინფორმაციული პარამეტრების ავტომატური განსაზღვრის საშუალებები, როგორც ციფრული, ასევე მიკროპროცესორული მართვით, სადაც ერთ-ერთ შემადგენელ ბლოკს წარმოადგენს DDS სინთეზატორზე აგებული ციფრულად მართვადი გენერატორი. შემუშავებულია შემოთავაზებულ მეთოდზე კონკრეტული საწვავის მარაგის მზომი ხელსაწყო.

რხევითი სისტემების ინფორმაციული პარამეტრების განსაზღვრის საშუალებებისა და მეთოდების განვითარების პერსპექტიულ მიმართულებას წარმოადგენს არსებული მეთოდების და საშუალებების სრულყოფა მათი საექსპლუატაციო შესაძლებლობების გაფართოების ხარჯზე.

მიზანს წარმოადგენს შეიქმნას რხევითი სისტემის ანალიტიკურ-იმიტაციური მოდელი, რომელიც საშუალებას მოგვცემს განვსაზღვროთ ძირითადი ინფორმაციული პარამეტრები.

ანალიტიკური მეთოდები საშუალებას იძლევა, მივაღწიოთ კარგ შედეგს, კერძოდ, აღვწეროთ სხვადასხვა სისტემური მართვის მოწყობილობების ფუნქციონირება, გამოვავლინოთ ძირითადი ფაქტორები, რომელნიც გავლენას ახდენენ სისტემის ეფექტურობაზე და დავადგინოთ მათი გავლენის დონე, ასევე განვსაზღვროთ დამოკიდებულება მათ შორის.

რხევითი სისტემის საკუთარი სიხშირის განსაზღვრის იმიტაციური მოდელის სტრუქტურული სქემა შედგება შემდეგი მთავარი ბლოკებისაგან (ნახ.1):

წრფივი ფუნქციის ფორმირების ბლოკი;

შენახვის ბლოკი;

ანალოგური სიდიდის სიხშირულ სიგნალში გარდაქმნის ბლოკი;

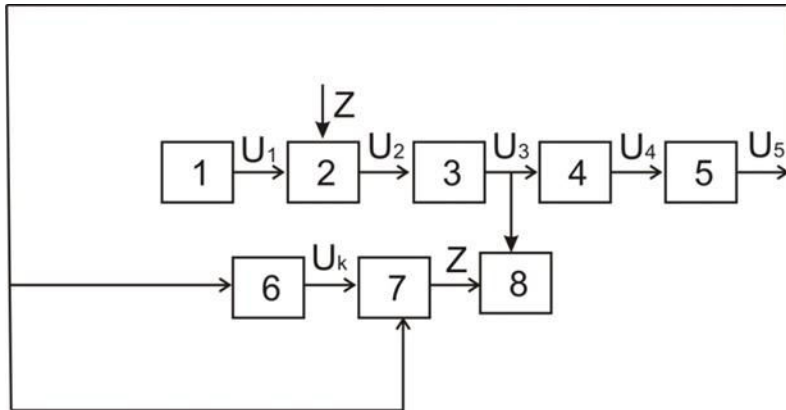
ობიექტი - რხევითი სისტემა;

დეტექტირების ბლოკი;

ამპლიტუდური მნიშვნელობის ფიქსაციის ბლოკი;

შედარების ბლოკი;

სიხშირეთა განსაზღვრის ბლოკი.



ნახ. 1. რხევითი სისტემის საკუთარი სიხშირის განსაზღვრის იმიტაციური მოდელის სტრუქტურული სქემა

ბლოკი 1 - გათვალისწინებულია წრფივი ფუნქციის ფორმირებისათვის, რომლის გაზრდა  $U_m$  მნიშვნელობამდე მიმდინარეობს პირველ ნახევარპერიოდში ( $0 - T/2$ ), ხოლო წრფივი ფუნქციის მილევადობა  $U_m$  დან  $0$ -მდე მიმდინარეობს მეორე ნახევარპერიოდში ( $T/2-T$ ), სადაც  $T$  არის წრფივი ფუნქციის განმეორების პერიოდი  $U_1(t)$ .

ბლოკი 2 - განკუთვნილია დროში წრფივად ცვლადი  $U_1(t)$  ფუნქციის მიმდინარე მნიშვნელობის შენახვისათვის, რომელიც მას მიეწოდება ბლოკ 1-დან. მიმდინარე შემომავალი სიგნალის შენახვა მიმდინარეობს  $Z$  სიგნალით, როდესაც  $Z=0$ ; წრფივად ცვალებადი სიგნალი ამ ბლოკიდან გადაეცემა გამოსასვლელს, სიგნალის პარამეტრების ცვლილების გარეშე, და ამ გამოსასვლელზე ვიღებთ სიგნალს, რომელიც შემოსასვლელი  $U_2(t)$  სიგნალის ანალოგურია და  $Z=1$  მნიშვნელობისათვის ვიღებთ შემომავალი სიგნალის მიმდინარე მნიშვნელობას, ხდება მისი დამახსოვრება. ანუ, გამოსასვლელზე ფიქსირდება ბლოკ - 1-დან შემომავალი სიგნალის მიმდინარე მნიშვნელობა.



ბლოკი - 3 - განკუთვნილია გამოსასვლელზე  $U_3(t)$  სიგნალის მნიშვნელობის მისაღებად მუდმივი ამპლიტუდით, რომლის სიხშირე პირდაპირ-პროპორციულია შემომავალი სიგნალის  $f=f_H+\Delta f$  .  $U_2(t)/U_m$ , რომელიც მიეწოდება 2 ბლოკიდან.

გამომავალი სიხშირული სიგნალი მიეწოდება ობიექტს - რხევით სისტემას 4 და სიხშირული სიხშირის სიგნალის განმსაზღვრელ ბლოკს 8.

ბლოკი - 4 - ობიექტი - რხევითი სისტემა ახდენს შემომავალი ჰარმონიული სიგნალის ამპლიტუდურ მოდელირებას, რომლის შედეგად გამოსასვლელზე ვიღებთ ამპლიტუდურ-სიხშირული მახასიათებლის მიხედვით მოდულირებულ ფუნქციას  $U_2(t)$ , რომელიც მიეწოდება მე-5 ბლოკს.

ბლოკი - 5 - დეტექტირებით გამოავლენს მუდმივ შემადგენელს და გამოსასვლელზე ხდება დაბალსიხშირული  $U_5(t)$  ფუნქციის ფორმირება, რომლის ფორმა განისაზღვრება რხევითი სისტემის ამპლიტუდურ-სიხშირული მახასიათებლით (ბლოკი 4).

ბლოკი - 6 - განკუთვნილია გამოსასვლელი ექსტრემალური ფუნქციის  $U_k$  განსაზღვრისა და მისი ფიქსაციისათვის.

ბლოკი - 7 - ახდენს მე-6 ბლოკიდან გამომავალი  $U_k$  სიგნალისა და  $U_5(t)$  სიგნალის შედარებას. გამოსასვლელი სიგნალი  $Z$  ბლოკ - 7-დან განისაზღვრება შემდეგი პირობიდან გამომდინარე:

$$Z = \begin{cases} 0, & \text{თუ } U_k \leq U_5(t) \\ 1, & \text{თუ } U_k \geq U_5(t) \end{cases}$$

ბლოკ - 8-ში ხდება ორი სიხშირის ნახევარჯამის გამოთვლა, რომელიც განისაზღვრება შემოთავაზებულ მოდელში შემუშავებული მეთოდით.

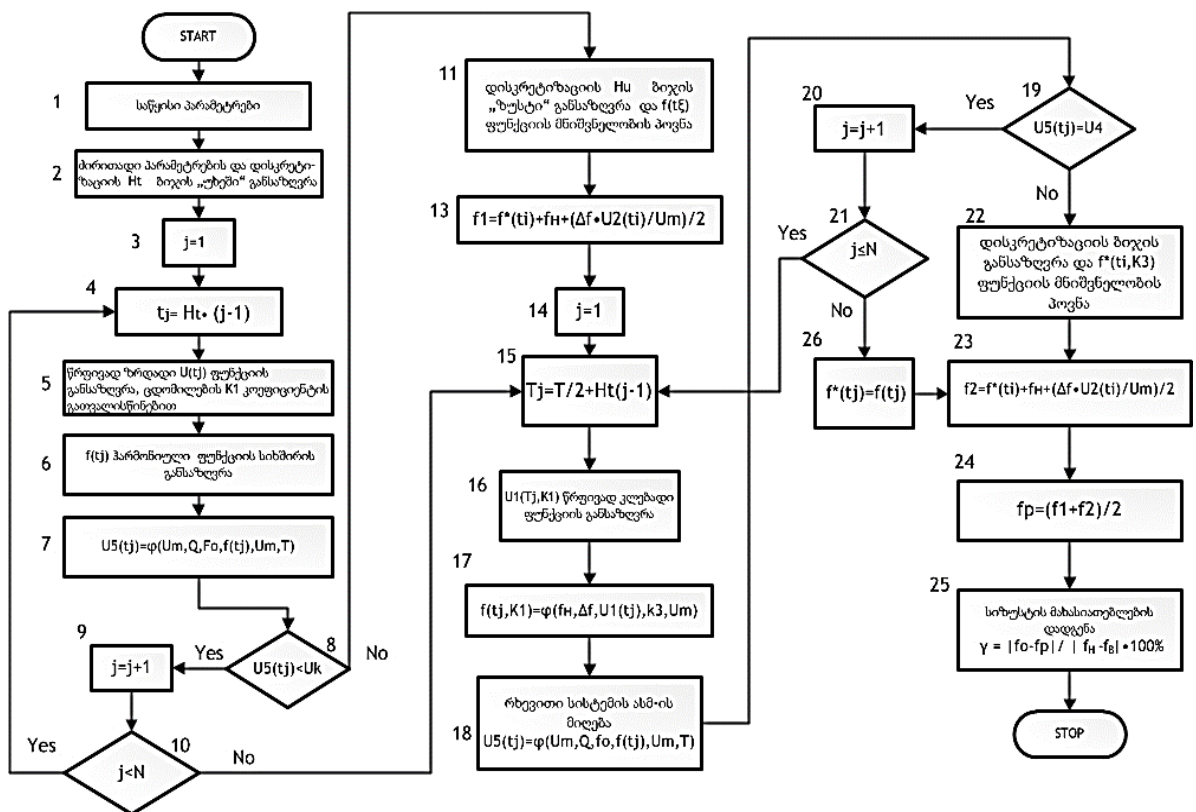
რხევითი სისტემის საკუთარი სიხშირის განსაზღვრის მოწყობილობის იმიტაციური მოდელის ალგორითმს საფუძვლად უდევს ნახ.1-ზე მოცემული სტრუქტურის გამოსასვლელი ფუნქციის დროითი დისკრეტიზაცია. მასში გამოყენებულია ორეტაპიანი დაკვანტვის ბიჯი,

ხოლო ცალკეული ბლოკის გამოსასვლელი რეალური მახასიათებლების სახით გამოიყენება ლაგრანჟის საინტერპოლაციო გამოსახულებები.

იმიტაციური მოდელის ალგორითმი რეალიზებულია C++ ალგორითმის ენაზე. პროგრამა შედგება ორი ნაწილისაგან. პირველ ნაწილში განისაზღვრება პარამეტრები პირველ ნახევარპერიოდში (0-დან  $T/2$ -მდე) საწყისი ფუნქციის პროპორციული ზრდის დროს  $U_i(t)$  (ბლოკი 1) 0-დან  $U_m$ -მნიშვნელობამდე. ამ ნაწილში განისაზღვრება  $f_1$  სიხშირე, რომელიც ინახება მეხსიერებაში.

მეორე ნაწილში განისაზღვრება მეორე ნახევარპერიოდის პარამეტრები ( $T/2$  -დან  $T$ -მდე),  $U_1(t)$  საწყისი ფუნქციის პროპორციული ვარდნის დროს. ამ შემთხვევაში  $U_1(t)$  იცვლება  $U_m$ -დან 0-მდე.

ალგორითმის ბლოკ-სქემა მოცემულია ნახ.2-ზე.



ნახ. 2. იმიტაციური მოდელის ალგორითმის ბლოკ-სქემა

ბლოკი 1 იძლევა საწყის მონაცემებს, რომელიც განსაზღვრავს სიხშირის ზედა და ქვედა დიაპაზონს –  $f_j$  : $f_b$ , ამპლიტუდას –  $U_m$ ,  $K_1, K_2, K_3$ ,  $K_4$  ინსტრუმენტული ცდომილების განმსაზღვრელ კოეფიციენტებს. შესაბამისი ბლოკების სიხშირის მთელ დიაპაზონში  $N$  დისკრეტიზაციის წერტილების რაოდენობას,  $T$  პერიოდის მნიშვნელობას,  $U_1(t)$  ხაზოვნად ცვლად საწყის ფუნქციას.

ბლოკი 2 განსაზღვრავს რხევადი სისტემის ძირითად კონკრეტულ ინფორმაციულ პარამეტრებს, როგორცაა  $Q$  ვარგისიანობა და  $f_0$  საკუთარ სიხშირე, ასევე გამოითვლება დისკრეტიზაციის „უხეში“ ბიჯი.

$$H_t = \frac{T}{2 \cdot N}$$

ეს საშუალებას იძლევა დროის მინიმალურ დანახარჯით განვახორციელოთ ფუნქციის ამპლიტუდურ-სიხშირული მახასიათებლის ექსტრემუმის „უხეში“ მოძებნა.

ბლოკი 4 განსაზღვრავს პირველ ნახევარპერიოდში ( $0$ -დან  $\pm T/2$ ) დროის  $t_j$  დისკრეტებს.

ბლოკი 5 გამოიმუშავებს საწყის წრფივად ცვლად  $U_i(t_j)$  ფუნქციას. კერძოდ, ამ ბლოკით მოიცემა პროპორციულად ზრდადი ფუნქცია ამ დროს მხედველობაში მიიღება არაწრფივი დამახინჯების  $K_1$  კოეფიციენტი.

ბლოკი 6-ის დანიშნულებაა შემავალი ფუნქციის გარდაქმნა სიხშირის  $f(t_j)$  ჰარმონიკის პროპორციულად.

ბლოკი 7 აფორმირებს  $U_5(t_j)$  ფუნქციას, რომლის ფორმა ეთანადება გამოსაკვლევ რხევადი სისტემის ასმ-ს

$$U_5(t_j) = \phi(U_m, Q, f_0, f(t_j), U_{om}, T) = \frac{U_m}{\sqrt{1 + \frac{2 \cdot Q \cdot (f(t_j) - f_0)}{f_0^2}}} + U_{om} \cdot \sin(0.002 \cdot \pi \cdot f(t_j) \cdot T) \cdot K_4$$

სადაც  $U_m$  – რს-ის ასმ-ის ამპლიტუდა;  $Q$ - რს-ის ვარგისიანობა;  $f(t_j)$ -მეექვსე ბლოკში განსაზღვრული მიმდინარე სიხშირე;  $f_0$  –  $KC$ -ის

მოცემული საკუთარი სიხშირე;  $U_m$ -ცვლადი მაღალსიხშირული მდგენელის ასმ-ის ამპლიტუდა (დეტექტირების ნარჩენი);  $T$ -ხაზოვანად ცვლადი ფუნქციის პერიოდი;  $U_i(t_j)$ ;  $K_4$  - დეტექტირების ცდომილების განმსაზღვრელი კოეფიციენტი.

აღსანიშნავია, რომ ფუნქციის პირველი წევრი განსაზღვრავს სიმეტრიულ ფუნქციას. ასიმეტრიული ფუნქციის აღწერისათვის ის შეიძლება შეიცვალოს სხვა ფუნქციით:

$$\frac{U_m}{\sqrt{1 + Q^2 \cdot \left(1 - \frac{f_0^2}{f^2}\right)^2}}$$

ბლოკი 8 გამოიყენება შედარების მოწყობილობად, რომელიც ასმ  $K_C$  ფუნქციას ადარებს მის  $U_k$  ექსტრემალურ მნიშვნელობასთან.

როდესაც  $U_5(t_j) \geq U_k$ , მაშინ ხდება მე-4 ბლოკზე გადასვლა. თუ  $U_5(t_j) < U_k$  მაშინ გადასვლა ხდება მე-15 ბლოკზე.

ბლოკი 11-ის დანიშნულებაა  $t$  დისკრეტიზაციის მომენტში მინიმალური „ზუსტი“ ბიჯით  $f^*(t_j)$  სიხშირის მოძიება და განსაზღვრა. როდესაც  $K_C$  ასმ ფუნქციის მნიშვნელობა უდრის ექსტრემალურს და (ე. ი. როდესაც  $U_5^*(t_j) = U_k$ )  $[t_{j-1}; t_j]$  ინტერვალში დისკრეტიზაციის „ზუსტი“ ბიჯი განისაზღვრება როგორც:

$$H_u = \frac{t_{j-1} - t_j}{N} = \frac{H_i}{N}$$

(ამ ინტერვალში დროითი დისკრეტის ყოველი ბიჯი ინომრება  $i$ -თი). სადაც  $H_t$  დროის მიხედვით დისკრეტიზაციის „უხეში“ ბიჯია,  $N$  - დისკრეტიზაციის წერტილების რაოდენობა.

სიხშირის განსაზღვრის მოთხოვნილი სიზუსტის უზრუნველყოფის მიზნით „ზუსტი“ ბიჯი განისაზღვრება პირობიდან:

$$\left| \frac{1}{H_u} \right| \leq \delta_f$$

მე-13 ბლოკის დანიშნულებაა  $\kappa_2$  ამორჩევა-შენახვის ბლოკის ცდომილების დაზუსტება. სიხშირის ეს მნიშვნელობა იწერება მეხსიერებაში.

ჩამოთვლილი ბლოკები პარამეტრებს განსაზღვრავს პირველი ნახევარპერიოდის განმავლობაში, ხოლო მეორე ნახევარპერიოდში პარამეტრებს განსაზღვრავს 14 – 22 ბლოკები და ისინი მსგავსია ზემოთ განხილული ბლოკების.

23 ბლოკში განისაზღვრება, ზუსტდება და ინახება მეორე სიხშირის მნიშვნელობა.

24-ე ბლოკში გამოითვლება  $f_1$  რეზონანსული სიხშირე, როგორც  $f_1$  და  $f_2$  სიხშირეების ნახევარჯამი.

25-ე ბლოკში განისაზღვრება იმიტაციური მოდელის ძირითადი გამომავალი პარამეტრები. კერძოდ, განისაზღვრება  $\gamma$  ფარდობითი მარეზულტირებელი ცდომილება, ნამდვილი ვარგისიანობა ასევე - მოცემული სიხშირის დიაპაზონში რეზონანსული სიხშირის რიცხვითი მნიშვნელობა.

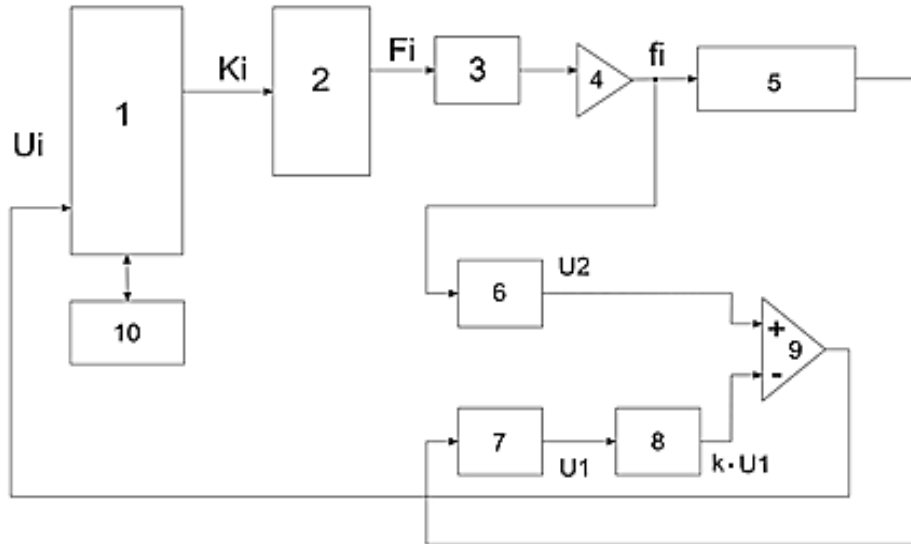
აღნიშნული ალგორითმი უზრუნველყოფს  $(0;T/2)$  და  $(T/2;T)$  ნახევარპერიოდებში პარამეტრების განსაზღვრას.  $(0;T/2)$  ნახევარპერიოდში  $U_i(t)$  საწყისი ფუნქციის მნიშვნელობა (ბლოკი 1) წრფივად იზრდება 0-დან  $U_m$  მნიშვნელობამდე, ხოლო  $(T/2;T)$  ნახევარპერიოდში  $U_i(t)$  ფუნქციის მნიშვნელობა წრფივად მცირდება  $U_m$ -დან 0 მნიშვნელობამდე. შემოთავაზებული ანალიტიკურ-იმიტაციური მოდელის კვლევა საშუალებას მოგვცემს ჩავატაროთ შემუშავებულ მეთოდებზე დაფუძნებული მოწყობილობების სიზუსტის მახასიათებლების შედარებითი ანალიზი არსებულთან შედარებით, ინსტრუმენტალური ცდომილებების გათვალისწინებით.

### **DDS სინთეზატორზე აგებული საწვავის რეზონანსული მზომი**

მრავალი სახის მოწყობილობა, რომელიც უზრუნველყოფს ტექნოლოგიური პარამეტრების განსაზღვრას და დაფუძნებულია სხვადასხვა სახის ფიზიკური თვისებების გამოყენებაზე, ასევე არის ფართო

ფუნქციონალური მრავალი შესაძლებლობების მქონე, ეს მოწყობილობები ემყარებიან არაელექტრული სიდიდის გარდასახვის მაღალსიხშირულ მეთოდებს. როგორც ზემოთ ავღნიშნეთ ამ მეთოდებზე დაფუძნებული მოწყობილობების პირველადი გარდამსახის მგრძობიარე ელემენტია რხევითი სისტემა - მოცულობითი რეზონატორი, რომელსაც ჩვენს შემთხვევაში წარმოადგენს ლითონის ავზი დიელექტრიკული ნივთიერებით - ნავთობპროდუქტით (საწვავით). მასში მოთავსებული დიელექტრიკული ნივთიერების მასის ცვლილება იწვევს მოცულობითი რეზონატორის ინფორმაციული პარამეტრების, კერძოდ, რეზონანსული სიხშირის ცვლილებას. აქედან გამომდინარე, ავზის არაპროპორციული ფორმები მასში მოთავსებული დიელექტრიკული ნივთიერების მასის გაზომვაზე ნაკლებ გავლენას ახდენს. თუ გავზომავთ რეზონანსულ სიხშირეს, ავზში მოთავსებული ნივთიერების მასის მიხედვით, მივიღებთ დამოკიდებულებას ამ ორ პარამეტრს შორის, რომელიც საკმარისი სიზუსტით ასახავს ნივთიერების (საწვავის რაოდენობას) მარაგს. ამრიგად, ავზში მოთავსებული საწვავის მარაგის განსაზღვრა დაიყვანება რეზონანსული სიხშირის დადგენამდე, ხოლო რეზონანსული სიხშირის დადგენა ხორციელდება პირდაპირი ციფრული გარდაქმნის პრინციპზე მომუშავე (DDS) სინთეზატორის მიკროპროცესორული მართვის ალგორითმის მიხედვით. DDS სინთეზატორები, ანუ ანალოგური სიგნალების პირდაპირი ციფრული სინთეზის მოწყობილობები დღეს, სულ უფრო და უფრო ფართოდ გამოიყენება რადიოელექტრულ სისტემებში, როგორც სიხშირის მაღალ დიაპაზონში 1000 მჰც, ასევე დაბალ სიხშირეზე (ერთეული ჰერცები). სინთეზატორის გამოსასვლელზე გამომუშავებული სიხშირული სიგნალი განისაზღვრება მის ციფრულ შესასვლელზე მიწოდებული 40 თანრიგა ორობითი კოდის –  $K_i$ -ის საშუალებით, რაც ამარტივებს მთლიანად ხელსაწყოს სტრუქტურას და ხდის მას უფრო ეფექტურს და მოქნილს.

საწვავის მარაგის რეზონანსული მზომის სტრუქტურული სქემა მოცემულია ნახ. 3-ზე.



ნახ. 3. საწვავის მარაგის რეზონანსული მზომის სტრუქტურული სქემა

DDS სინთეზატორზე აგებული რეზონანსული მზომის სტრუქტურული სქემა შეიცავს:

1 - მიკროპროცესორული სისტემა; 2 - DDS სინთეზატორი; 3 - ფილტრი; 4 - ფართეზოლოვანი მამლიერებელი; 5 - ობიექტი (მოცულობითი რეზონატორი); 6 - ობიექტის შესასვლელზე მიწოდებული სიხშირული სიგნალის ამპლიტუდური დეტექტორი; 7 - ობიექტის გამოსასვლელიდან მოხსნილი სიხშირული სიგნალის ამპლიტუდური დეტექტორი; 8 - მამლიერებელი; 9 - დიფერენციალური (სხვაობითი) მამლიერებელი; 10 - ინდიკაციისა და შეტანა-გამოტანის ბლოკი.

მიკროპროცესორული სისტემა 1 გამოიმუშავებს  $K_i$ -ურ კოდს. ეს კოდი მიწოდება სინთეზატორს 2. სინთეზატორი გამოიმუშავებს  $F_i$ -ური სიხშირის სინუსოიდურ სიგნალს. გამომუშავებული სიგნალის  $F_i$ -ური სიხშირე შეესაბამება სინთეზატორზე მიწოდებულ  $K_i$ -ურ კოდს (ანუ  $F_i = \varphi(K_i)$ ). იმ დროის ინტერვალში, როდესაც სინთეზატორის შესასვლელზე დაფიქსირებულია  $K_i$ -ური კოდი, გამომუშავებული სინუსოიდური

სიგნალის სიხშირე  $F_i$  და ამპლიტუდა  $U_i$  წარმოადგენენ მუდმივ სიდიდეს. გამომუშავებული მაღალსიხშირული სი-ნუსოიდური სიგნალი მიეწოდება ფართეზოლოვან ფილტრს 3, რომელიც ატარებს ძირითად სიხშირულ მდგენელს და გამოსასვლელზე გვაქვს სუფთა სინუსოიდური სიხშირე  $F_i$ , რომელიც ფართეზოლოვანი მაღალსიხშირული მამლიერებლის 4 გავლით მიეწოდება გამოსაკვლევ ობიექტს 5. ობიექტი წარმოადგენს მოცულობით რეზონატორს, რომელიც თავის მხრივ ფიზიკურად წარმოადგენს ავზს დიელექტრიკული საწვავით. მოცულობითი რეზონატორის რეზონანსული სიხშირის ცვლილების დიაპაზონი დამოკიდებულია ავზის კონსტრუქციულ ზომებსა და მასში მოთავსებული დიელექტრიკული ნივთიერების რაოდენობის ცვლილებაზე, ანუ მოცემული ზომის რეზონატორში დიელექტრიკული ნივთიერების (მასის) დონის რაოდენობრივი ცვლილება იწვევს რეზონანსული სიხშირის სიდიდის ცვლილებას და მათ შორის არსებობს პროპორციული დამოკიდებულება  $h = \varphi(f_{ox})$ . მოცულობითი რეზონატორის რეზონანსული სიხშირის გაზომვის გზით ვადგენთ ავზში მოთავსებული ნივთიერების რაოდენობას – საწვავის მარაგს. რეზონანსული სიხშირის გაზომვა ხორციელდება რეზონატორის ამპლიტუდურ სიხშირული მახასიათებლის მიხედვით. კერძოდ, ამპლიტუდურ სიხშირული მახასიათებლის მაქსიმუმის დადგენის გზით, რომელსაც შეესაბამება რეზონანსული სიხშირე.

როდესაც რეზონატორს მიეწოდება მაღალსიხშირული სინუსოიდური სიგნალი, რეზონატორი აღიგზნება და მის გამოსასვლელზე ვიღებთ შესასვლელზე მიწოდებული სიგნალის ამპლიტუდის ცვლილებას, რაც გამოწვეულია რეზონატორში არსებული დიელექტრიკული მასის რაოდენობის ცვლილებით. სხვაგვარად რომ ვთქვათ, რეზონატორი იწვევს შესასვლელი სიხშირული სიგნალის ამპლიტუდურ მოდულაციას და ამპლიტუდურ-მოდულირებული სიგნალი მიეწოდება ამპლიტუდურ დეტექტორს 7, რომელიც სიხშირული სიგნალიდან გამოყოფს დაბალ სიხშირულ მდგენელს – სიხშირული სიგნალის ამპლიტუდის



პროპორციულ ძაბვის დონეს -  $U_{1i}$ . ეს ძაბვა მაძლიერებლის 8 საშუალებით ძლიერდება  $k$ -ჯერ და გაძლიერებული სიგნალი ( $U_{1i:k}$ ) მიეწოდება დიფერენციალური მაძლიერებლის 9 ერთ-ერთ შესასვლელს, რომლის მეორე შესასვლელზე ასევე მიეწოდება დაბალსიხშირული სიგნალი მეორე ამპლიტუდური დეტექტორიდან 6, რომლის გამოსასვლელზე გამოიმუშავდება ობიექტზე მიწოდებული სიხშირული სიგნალის ამპლიტუდის პროპორციული ძაბვის დონე -  $U_{2i}$ . დიფერენციალური მაძლიერებლის გამოსასვლელზე ვიღებთ ძაბვათა სხვაობას:

$$U_i = (U_{2i} - U_{1i:k}) \cdot K$$

$K$  არის მასშტაბირების კოეფიციენტი, რომელიც შეიძლება იცვლებოდეს 1-დან 4-მდე.

სხვაობითი სიგნალი  $U_i$  წარმოადგენს ანალოგურ სიგნალს, რომელიც დროის მოცემულ  $t_i$  მომენტში ფიქსირებული მუდმივი სიდიდეა. ამ ანალოგური სიგნალის გარდაქმნა ხდება ციფრულ ფორმაში მიკროპროცესორულ სისტემაში არსებული ანალოგურ-ციფრული გარდაქმნელის საშუალებით. მიკროპროცესორული სისტემის მეხსიერებაში ხდება  $U_i$  -ური ძაბვის შესაბამისი კოდის დაფიქსირება და ცხრილის სახით ინახება  $K_i$ -ურისა და  $U_i$  -ურის მნიშვნელობები. ამ ცხრილური მნიშვნელობების ჩაწერა ხდება სამ ეტაპად. I ეტაპზე მოცემული ძაბვის სიხშირული დიაპაზონის დაყოფა ხდება  $N$  ნაწილად, ანუ:

$$\Delta f_m = \frac{f_{Hm} - f_{Lm}}{N}$$

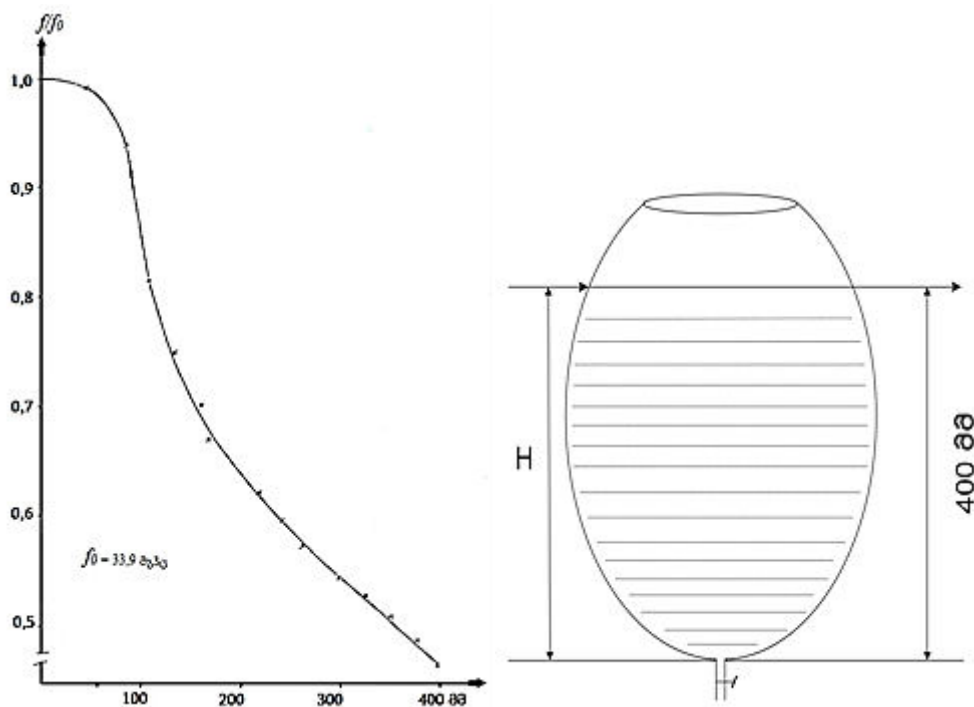
$$f_i = f_{Lm} + \Delta f_m \quad i, (0) < i < N$$

სადაც  $m=1$ , რომლის შესაბამისი რეაგირების შემდეგ აცგ-ს საშუალებით  $U_i$  -ურის მნიშვნელობები დაფიქსირდება მეხსიერებაში. მოცემულ ეტაპზე ხდება ფი-ური სიხშირის გამომუშავება დაყოფილი სიხშირული დიაპაზონის  $N+1$  რაოდენობის წერტილებში და მიიღება  $N+1$  რაოდენობის  $U_i$ -ურის წერტილები.  $U_i$  -ური წერტილებიდან ამოირჩევა მაქსიმალური მნიშვნელობის მქონე წერტილი  $U_i$ -ური და მის ახლო მდგომი მნიშვნელობების მქონე  $U_{j-1}$  და  $U_{j+1}$  წერტილები, რომლებსაც შეესაბამება  $f_{j-1}$

და  $f_{j+1}$  სიხშირეები. ეს მიღებული სიხშირეები გამოიყენება შემდგომი – მეორე ეტაპის ქვედა და ზედა ზღვრულ სიხშირეებად, რომელიც ისევ დაიყოფა დიაპაზონის  $N$  თანატოლ ნაწილად და ანალოგიურად წინა ეტაპისა, განხორციელდება ახალი ბიჯის მნიშვნელობის შერჩევა და პროცესი ანალოგიურად გაგრძელდება ( $m=2$ ).

ამგვარად, განხორციელდება მე-3 ეტაპი ( $m=3$ ), სადაც გვექნება ყველაზე მცირე ბიჯი, რომლის სიდიდეზეცაა დამოკიდებული რეზონანსული სიხშირის გაზომვის სიზუსტე. ამ ეტაპზე ამოირჩევა ერთი სიხშირე ყველა სხვა დანარჩენ სიხშირეთაგან, რომელსაც შეესაბამება უფრო მეტი ამპლიტუდური  $S_j$  მნიშვნელობა სხვა მიღებულ ამპლიტუდებთან შედარებით. ამგვარად, ხორციელდება რეზონანსული სიხშირის გაზომვა და მახასიათებლის მიხედვით საწვავის მარაგის დადგენა.

ჩატარებული იყო ექსპერიმენტული კვლევები ავზზე, რომელიც ნაჩვენებია ნახ. 4-ზე, რის მიხედვითაც მოხდა ექსპერიმენტული გამოსასვლელი მახასიათებლის მიღება.



ნახ. 4. რეზონატორის ექსპერიმენტული გამოსასვლელი მახასიათებლის ამსახველი გრაფიკი (ა) და ავზი (ბ) (დიელექტრიკული) საწვავით.

რეზონანსული სიხშირის მაქსიმალური მნიშვნელობა, რომელსაც შეესაბამებოდა საწვავისაგან დაცლილი ავზის შემთხვევაში მისი მაქსიმალური რეზონანსული სიხშირე შეადგენდა  $F_{01} = 33,9$  მგჰც, ხოლო ბოლომდე ავსებული ავზის შემთხვევაში რეზონანსული სიხშირე შეადგენდა  $F_{02} = 4$  მგჰც.

როგორც გრაფიკიდან ჩანს, მახასიათებელი არაწრფივია, ამიტომ თუ გაზომვის დიაპაზონს დავყოფთ თანაბარ ნაწილებად (მაგ. 25) და გამოვიყენებთ წრფივი აპროქსიმაციის მეთოდს, არაწრფივობის ცდომილება მთელს დიაპაზონში არ გადააჭარბებს 2,3%-ს, რაც პრაქტიკულად მისაღებია და შეიძლება იყოს გამოყენებული საწვავის მარაგის რაოდენობის (დონის) გაზომვისა და აღრიცხვის ამოცანებში.

ამრიგად ჩვენს მიერ გამოყენებულ იქნა მაღალსიხშირული მეთოდი, რომლის უპირატესობაა, მოძრავი ნაწილების არქონა და პრაქტიკულად არ არის სპეციალური სენსორების გამოყენების აუცილებლობა, რადგან მგრძობიარე ელემენტს წარმოადგენს თვით ავზი, ანუ მოცულობითი რეზონატორი, რომელსაც არ გააჩნია არავითარი დამატებითი მექანიკური მოძრავი ნაწილები.

## დასკვნა

1. რხევითი სისტემის საკუთარი სიხშირის განსაზღვრისა და კვლევისათვის შედგენილია სპეციალური ანალიტიკურ-იმიტაციური მოდელი, რომლითაც შესაძლებელია ჩატარდეს როგორც არსებულ, ასევე შემოთავაზებულ მეთოდებზე აგებულ მოწყობილობათა კვლევა და ანალიზი. ეს მიდგომა საშუალებას იძლევა, უფრო კარგად შეფასდეს და გაანალიზდეს მოწყობილობათა სიზუსტის მახასიათებლები.

2. ანალიტიკურ-იმიტაციურ მოდელში გათვალისწინებულია აღნიშნული მოწყობილობების შემადგენელი ბლოკების ძირითადი

ცდომილებები, რომლებიც გავლენას ახდენენ რხევითი სისტემის ძირითადი ინფორმაციული პარამეტრის განსაზღვრის სიზუსტეზე.

3. შემოთავაზებულია რხევითი სისტემის ძირითადი ინფორმაციული პარამეტრების ავტომატური განსაზღვრის საშუალებები, როგორც ციფრული, ასევე მიკროპროცესორული მართვით, სადაც ერთ-ერთ შემადგენელ ბლოკს წარმოადგენს DDS სინთეზატორზე აგებული ციფრულად მართვადი გენერატორი, რომელიც ცვლის მაღალსიხშირულ ანალოგურ გენერატორებს. DDS სინთეზატორის საშუალებით შესაძლებელია დიაპაზონის ფართო საზღვრებში ცვლილება და ასევე კვანტირების ბიჯის ცვლილების დიდი დიაპაზონი, რაც უზრუნველყოფს მთლიანად გაზომვის პროცესის ოპტიმალურ მართვას მოთხოვნილი სიზუსტის მიხედვით.

4. ანალიტიკურ-იმიტაციურ მოდელში გათვალისწინებულია დეტექტირების ცდომილება, რომელიც განისაზღვრება  $K4$  ლოგიკური პარამეტრით. იგი იღებს ორ მნიშვნელობას 0 ან 1. თუ  $K4=1$ , დეტექტირების ცდომილება გათვალისწინებული იქნება, ამ ცდომილებას აქვს შემთხვევითი ხასიათი, ამიტომ მოცემული შედეგებიდან ამორჩეულია მაქსიმალური ცდომილება.

5. იმიტაციური მოდელის ანალიზი ჩატარებულია უპირატესად დაბალი ვარგისიანობის მქონე რხევითი სისტემებისათვის ( $Q < 20$ ), რადგან მისი კვლევის შედეგად დადგენილია, რომ შემოთავაზებულ მეთოდს გააჩნია და შესაბამისად მასზე დაყრდნობილ მოწყობილობას უფრო მაღალი სიზუსტის მახასიათებლები, ვიდრე არსებულ მოწყობილობებს.

6. შემუშავებულია შემოთავაზებულ მეთოდზე კონკრეტული საწვავის მარაგის მზომი ხელსაწყო, რომლის უპირატესობაა ის, რომ პრაქტიკულად არ არის სპეციალური სენსორების გამოყენების აუცილებლობა, რადგან მგრძნობიარე ელემენტს წარმოადგენს თვით ავზი, ანუ მოცულობითი რეზონატორი, რომელსაც არ გააჩნია არავითარი დამატებითი მექანიკური მოძრავი ნაწილები, რითაც გააჩნია უპირატესობა არსებული მარაგის საზომ მოწყობილობებთან შედარებით.

## სადისერტაციო თემაზე გამოქვეყნებული ლიტერატურა

1. ეპიტაშვილი ი. „ავტონომიური საჭადრაკო საათი PIC მიკროკონტროლერის ბაზაზე“. სტუ, სტუდენტთა 84-ე საერთაშორისო სამეცნიერო კონფერენცია, თბილისი, 2016 წ., გვ. 392.
2. ეპიტაშვილი ი. „პირდაპირი ციფრული გარდაქმნის სინთეზატორები და მათი გამოყენება მიკროპროცესორულ საზომ სისტემაში“. სტუ, სტუდენტთა 85-ე საერთაშორისო სამეცნიერო კონფერენცია, თბილისი, 2017 წ., გვ. 445.
3. ეპიტაშვილი ი. „რხევითი სისტემის რეზონანსული სიხშირის განსაზღვრის განშლადი მეთოდი და მისი თავისებურებანი“. საქართველოს საინჟინრო სიახლენი. 2017, 4, გვ. 12-14.
4. აზმაიფარაშვილი ზ. ოთხოზორია ნ. ეპიტაშვილი ი. „რხევითი სისტემების ძირითადი ინფორმაციული პარამეტრების განსაზღვრის მოწყობილობის ანალიტიკურ-იმიტაციური მოდელი“. სტუ-ს არჩილ ელიაშვილის მართვის სისტემების ინსტიტუტის შრომათა კრებული, 2017, 21, გვ. 71-76.
5. აზმაიფარაშვილი ზ. ეპიტაშვილი ი. „DDS სინთეზატორზე აგებული საწვავის მარაგის რეზონანსული მზომი“. საქართველოს საინჟინრო სიახლენი. 2018, 1, გვ. 30-33.

## Abstract

The expansion of the implementation and use of management devices in practice has led to the demands for improvement of the quality characteristics of the management systems and systems in the simultaneous deterioration of their expansionary conditions. First of all, it concerns the primary transformation in such conditions as low or elevated temperature, aggressive environment, increased vibration intensity and other factors. All this leads to the search and methods of processing the information received from the initial conversion that high accuracy will determine the size of the main information parameters and ensure the reduction of the error caused by other additional hindering factors or excluding it altogether.

Now a lot of scientific research is directed towards the non-traditional methods of, or restricted from existing methods can not provide the required accuracy, or their use impossible in these difficult working conditions of exploitation, so the basic information management devices and to determine the parameters of high accuracy at the same time the main Dynamic and static parameters (measurement time, a fixed time to react, the measurement range of automatic control systems, slit at the top and bottom frequencies microprocessor control) ensures flexible management of production processes and quality control of the exact product.

Many types of devices that provide parameters are established based on the use of different physical properties, including the devices and means that are based on the high-frequency methods of unelectric values. These devices are based on highly flexible methods, the sensitive element of the primary conversion is the flaky system.

The system has many features, such as resonant frequency, flexibility, passing line, amplitude-frequency characterization (AS) amplitude, local maxms and more. But in practice it is more commonly used to have their own frequency and flexibility. Among them is the frequency of the rigidity system, and the second is the suitability. The use of microprocessors in determining non-electron values can be discussed in two directions: 1. Algorithm realization that ensures an inconvenience to adverse factors; 2. Improve the accuracy of secondary transformations of information parameters. The accuracy of this device is directly related to the accuracy of determining the parameters of the rigid system, and the alarms can be algorithmed and can be filtered through the microprocessor.

Nowadays there are methods, devices and means of different precision class determining the options of the system. Most of the means include the display of the amplitude-frequency characteristic curve, equipping the frequency generator and the managing device where the human hand is interrupted, such devices are not automated to define parameters, have large gear and produce expensive

equipment. In addition, their main drawback is that they do not have the ability to reflect the resonant frequency of the basic information parameters of the rigid system in digital form, and most importantly their accuracy is even lower, which is less flexible coefficient. This limits their use in low-flexibility systems.

The present management of devices, mainly for low suitability of, basic informative parameters of vibration system with high precision and determination of information, processing methods and means of research and analysis through analytical-simulation model, implemented device DDS synthesizer processing base, which result substantially increased the accuracy of determining the parameters, the frequency of the digital control and the possibility of flexible management options for measuring time, the required accuracy of the.