

მარინა ქურდაძე / Marina Kurdadze¹
 თინათინ კაიშაური / Tinatin Kaishauri²
 ია ირემაძე / Ia Iremadze³
 (თბილისი, საქართველო / Tbilisi, Georgia)

ფუნქციური ოპტოელექტრონული სტრუქტურის საიმედოობის უზრუნველყოფისა და შეფასების მეთოდი

აბსტრაქტი: საქართველოს სახელმწიფო ელექტროსისტემა ამჟამად, შავი ზღვის ფსკერზე მაღალი ძაბვის გადამცემი კაბელის გაყვანის შესაძლებლობას განიხილავს. პროექტი კომერციულად მიმზიდველია. მაღალი ძაბვის კაბელთან ერთად, აგრეთვე განიხილება ინტერნეტის ოპტიკურ-ბოჭკოვანი კაბელის გაყვანაც.

შავი ზღვის წყალქვეშა კაბელის პროექტი, მიზნად ისახავს დააკავშიროს საქართველოს და რუმინეთის ელექტროენერგეტიკული სისტემები შავი ზღვის გავლით.

საკვანძო სიტყვები: ელექტროსისტემა, შავი ზღვა, ინტერნეტის ოპტიკურ-ბოჭკოვანი კაბელი.

A Method of Ensuring the Reliability and Comprehensive Evaluation of a Functional Optoelectronic Structure

Abstract: The Georgian state electricity system is currently considering the possibility of laying a high-voltage transmission cable on the Black Sea floor. The project is commercially attractive. In addition to high voltage cable, fiber optic cable internet is also being considered.

¹ საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის, ინფორმატიკისა და მართვის სისტემების ფაკულტეტის, ციფრული სატელეკომუნიკაციო ტექნოლოგიების აკადემიური დეპარტამენტის (დეპარტამენტის ხელმძღვანელი), პროფესორი / Georgian Technical University, Faculty of Informatics and Management Systems, Academic Department of Digital Telecommunication Technologies (Head of the Department), Professor

² საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის, ინფორმატიკისა და მართვის სისტემების ფაკულტეტის, საინფორმაციო სისტემების აკადემიური დეპარტამენტის პროფესორი / Professor at the Academic Department of Information Systems, Faculty of Informatics and Management Systems, Technical University of Georgia

³ საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის, ინფორმატიკისა და მართვის სისტემების ფაკულტეტის, საინფორმაციო ტექნოლოგიების აკადემიური დეპარტამენტის ასოცირებული პროფესორი / Associate Professor at the Academic Department of Information Technology, Faculty of Informatics and Management Systems, Technical University of Georgia

The Black Sea Submarine Cable Project aims to connect the Georgian and Romanian power systems via the Black Sea.

Key words: *Electrical system, Black Sea, fiber-optic internet cable*

* * *

შესავალი: ცნობილია, რომ საქართველოს სახელმწიფო ელექტროსისტემა ამჟამად განიხილავს შავი ზღვის ფსკერზე მაღალი ძაბვის გადამცემი კაბელის გაყვანის შესაძლებლობას, აგრეთვე იმ პროექტებს, რომელსაც კომერციული მიმზიდველობა ექნება. განიხილება ასევე მაღალი ძაბვის კაბელთან ერთად ინტერნეტის ოპტიკურ-ბოჭკოვანი კაბელის გაყვანაც.

ცნობისათვის, შავი ზღვის წყალქვეშა კაბელის პროექტი, მიზნად ისახავს, დააკავშიროს საქართველოსა და რუმინეთის ელექტროენერგეტიკული სისტემები შავი ზღვის გავლით.

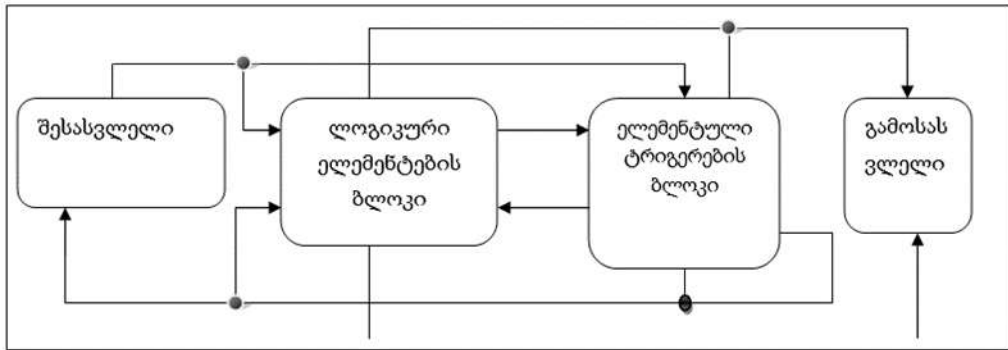
პროექტის მიმართ დაინტერესება დიდია, მათ შორის – მეცნიერების, თუ როგორი საიმედოობით განისაზღვრება პროექტის დამუშავების პროცესი ელექტროენერგეტიკულ კაბელში, როგორ იქნება ინსტალირებული ოპტიკურ-ბოჭკოვანი სადენი, რომელიც მოგვცემს დამატებით პირდაპირ საშუალებას ტელეკომუნიკაციის/ინტერნეტ-არხის ჩამოსაყალიბებლად.

გამომდინარე აქედან, ნაშრომში დამუშავებულია და გაანალიზებულია ოპტოელექტრონული სტრუქტურების საიმედოობის უზრუნველყოფისა და სრულყოფილი შეფასების მეთოდი. განხილულია გამომთვლელი მოდულის სტრუქტურა, გადაწყობადი ფუნქციები და გადაწყობის ალგორითმი. გაანალიზებულია ოპტოელექტრონული სტრუქტურების მუშაობის ძირითადი რეჟიმები. მოცემულია საიმედოობის კონტროლის ალგორითმის ბლოკ-სქემა.

განსახილველი სტრუქტურა როცა შედგება ოპტოელექტრონული გამომთვლელი მოდულისგან გარკვეული სასრულო სიმრავლიდან, ამ გამომთვლელი მოდულების ფუნქციონირების ძირითადი არსი მდგომარეობს მათ გამოსასვლელზე ცვალებადი ფუნქციების გენერირების შესაძლებლობაში. ოპტოელექტრონული გამომთვლელი მოდული - ეს არის მრავალფუნქციური სტრუქტურა, რომლის შინაგანი ფუნქციური კავშირების გადაწყობის გზით რეალიზაციას გაუკეთებს ოპტიკურ სტრუქტურას.

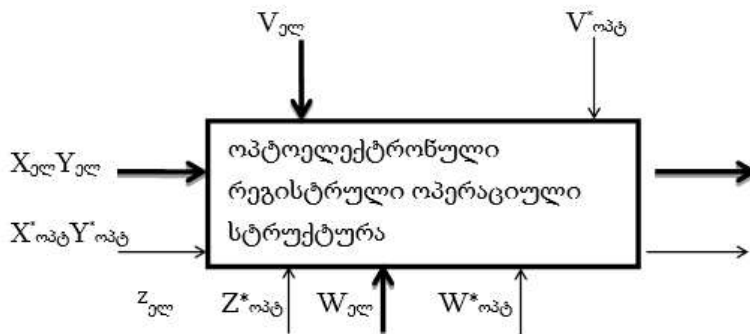
ზოგადად აღნიშნული მოდული შედგება შემდეგი ძირითად ნაწილებისაგან (სურ.1): კონიუნქტორული ლოგიკური ელემენტების ბლოკისაგან, ელემენტარული ორობითი გადამრთველების ბლოკისგან, რომლებიც ერთმანეთთან და-

კავშირებული არიან საინფორმაციო და მმართველი ოპტოელექტრონული სიგნალების შესასვლელ-გამოსასვლელებით.



სურ. 1

მრვალფუნქციურ გამოთვლელ მოდულში ლოგიკური ელემენტების ბლოკი და ელემენტარული ტრიგერების ბლოკი ერთობლიობაში ქმნის ოპტოელექტრონულ რეგისტრულ ოპერაციულ სტრუქტურებს, რომლებიც განსხვავდებიან ერთმანეთისგან სარეალიზაციო ფუნქციების სახესხვაობითა და სიმრავლით. სარეალიზაციო ფუნქციის კონკრეტული სახეს განაპირობებს სტრუქტურაზე მომქმედი სხვადასხვა ფაქტორები. ეს ფაქტორი წარმოდგენილია ფუნქციათა სიმრავლეების სახით. მათი ხასიათი და ურთიერთქმედების კავშირები ნაჩვენებია სურ. 2-ზე, სადაც შემოღებულია შემდეგი აღნიშვნები:



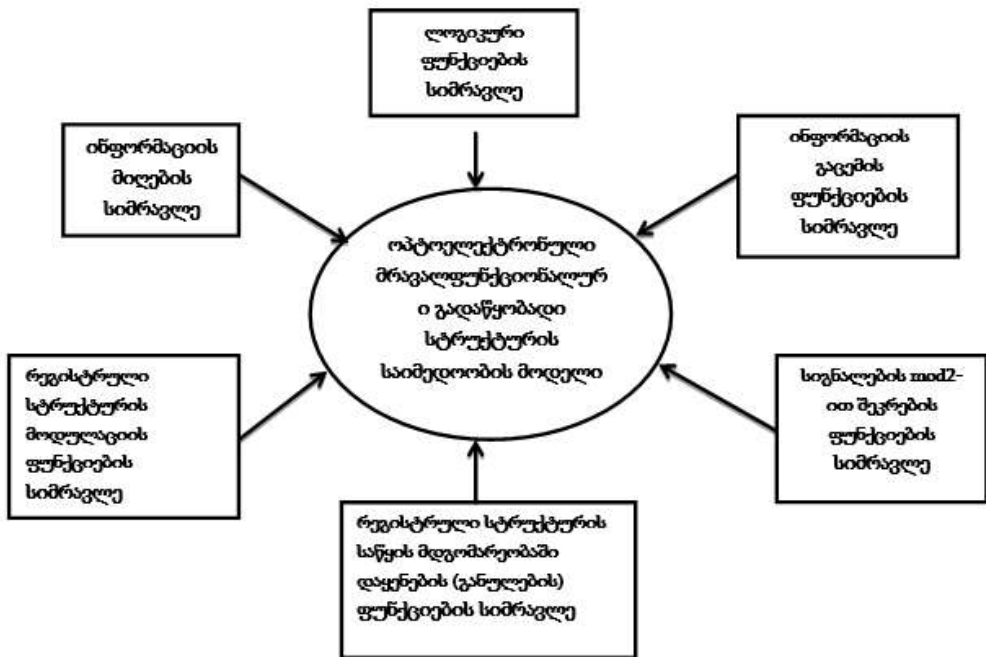
სურ. 2

ოპერაციული სტრუქტურის მომართვა (გადაწყობა) რაიმე მოცემული $f_i \in F$ ფუნქციის შესასრულებლად წარმოებს გადაწყობის სივრცით $** = \langle \nu, \nu_* \rangle$. შესაძლებელია გადაწყობის ისეთი ვარიანტებიც, როცა $V = \emptyset$

და $H_v = \langle v^* \rangle$ და $H_v = \langle V^* \rangle$, ანდა პირიქით, როცა $V^* = \emptyset$ და $H_v = \langle V \rangle$ [1] საჭიროა ასევე აღინიშნოს, რომ რეგისტრული სტრუქტურის ოპტოელექტრონულ ელემენტებს გააჩნიათ არხები Z, Z^* - სიგნალების სიმრავლეებისთვის, რომლებზედაც საჭიროებისამებრ მიეწოდება მომმართველი (გადასაწყობი) ელექტრული ან ოპტიკური (შესაძლებელია კომბინირებულადაც) სიგნალები. სქემურ-პრინციპიალურ დონეზე ეს მმართველი სიგნალები იყოფა ორ სიგნალად, რომლებიც- 1) აღაგზნებენ რეგისტრულ სტრუქტურაში ოპტოელექტრონულ ელემენტებს, ე.ი. როცა ელემენტები აეწყობა სიგნალების გარდასაქმნელად, რომლის დროსაც რეალიზდება გარკვეული ელემენტარული ფუნქცია და 2) ფიქსაციის სიგნალებად, რომლის მიხედვითაც გარდაქმნის შემდეგ ამ ელემენტებში შემცველი სიგნალები ინახება (ან არ შეინახება).

ამგვარად, თითოეულ სტრუქტურაში ოპტოელექტრონული „შემსრულებელი“ მუშაობს შემდეგ რეჟიმებში: ელემენტი გარდაქმნის სიგნალს და არ შეინახავს (არ დაიმახსოვრებს); ელემენტი გარდაქმნის სიგნალს და შეინახავს (დაიმახსოვრებს); ელემენტი გარდაქმნის შემდეგ შეინახავს სიგნალს, მაგრამ არ გასცემს; ელემენტი გარდაქმნის შემდეგ გასცემს სიგნალს და დაიმახსოვრებს კიდევ გაცემული სიგნალის სახეს; ელემენტი სიგნალების არავითარ გარდაქმნებს, შენახვებს და გაცემებს არ აწარმოებს.

ზემოთ ჩამოთვლილი რეჟიმები ვრცელდება როგორც ელექტრულ სიგნალებზე, ასევე ოპტიკურ სიგნალებზეც. ამ რეჟიმებიდან გამომდინარე, არაა ძნელი მიხვედრა, რომ ოპტოელექტრონულ სტრუქტურებში შესაძლებელია გადაწყობის ვარიანტები, როცა $Z = \emptyset$ და $H_Z = \langle Z^* \rangle$ (ე.ი. გადაწყობა ხდება მხოლოდ ოპტიკური მმართველი სიგნალით), ან პირიქით, როცა $Z^* = \emptyset$ და $H_Z = \langle Z \rangle$ (გადაწყობა ხდება მხოლოდ ელექტრული მმართველი სიგნალით) ცხადია, $H_Z = \langle Z, Z^* \rangle$ -ის დროს გადაწყობაში მონაწილეობას იღებს ორივე სახის მმართველი სიგნალები. ამის ანალოგიურად ოპტოელექტრონული სტრუქტურის კოსტრუქციაში შეიძლება გათვალისწინებული იყოს სტრუქტურის განულების, ე.ი. საწყის მდგომარეობაში ჩაყენების („დაყენება-0“) სხვადასხვა ვარიანტიც. მაგალითად, როცა $W^* = \emptyset$ და $H_W = \langle W \rangle$ ან პირიქით, როცა $W = \emptyset$ და $H_W = \langle W^* \rangle$, შესაძლებელია ვარიანტიც $H_W = \langle W, W^* \rangle$.



სურ.3

ყველა ფუნქციებისთვის სტრუქტურათა სიმრავლე ქმნის გადამწყობ ველს $H_w = \langle W^* \rangle$ $H = \{H_1, H_2, \dots, H_k\}$ ამგვარად, სხვადასხვა ფუნქცია ოპტოელექტრონულ სტრუქტურებში რეალიზდება რეგისტრულ სტრუქტურებს შორის ინფორმაციის გადაცემის გზით.

რეგისტრული ოპტოელექტრონული სტრუქტურები ერთმანეთთან ურთიერთდინამიურ კავშირებში ქმნის ცალკეულ ოპერაციულ სტრუქტურებს (ოპერაციულ კვანძებს), ხოლო ამ უკანასკნელთა გარკვეული სასრულო სიმრავლე მთლიანობაში ოპტოელექტრონულ მრავალფუნქციურ გადაწყობად სტრუქტურებს. თითოეული სტრუქტურის საიმედოობის მოდელზე (სურ.3.) უნდა აისახოს სხვადასხვა ფუნქციის ზემოქმედებათა სიმრავლეები, რომლებიც თავის მხრივ წარმოდგენილი არიან ასევე ელექტრული ან ოპტიკური ბუნების სიგნალებით. გადამწყობად ოპტოელექტრონულ სტრუქტურებში მრავალფუნქციური გამომთვლელი მოდული - ეს არის ფუნქციურად სრული კვანძი, ე.ი. ცვალებადი ფუნქციის მოდული, რომელსაც გააჩნია გადაწყობის უნარი $F = \{f_1, f_2, \dots, f_k\}$ სასრულო სიმრავლიდან საჭირო ფუნქციის (მიზნობრივი ფუნქციის) რეალიზაციისთვის [3]. მაგალითად, რაიმე f_i ფუნქციის შესასრულებლად საჭიროა, რომ

გადაწყობად გამომთვლელ მოდულს ჰქონდეს $V_{ელექტ}$ (ელექტრული) და $V_{ოპტ}$ (ოპტიკური) მმართველი შესასვლელების სიმრავლე;

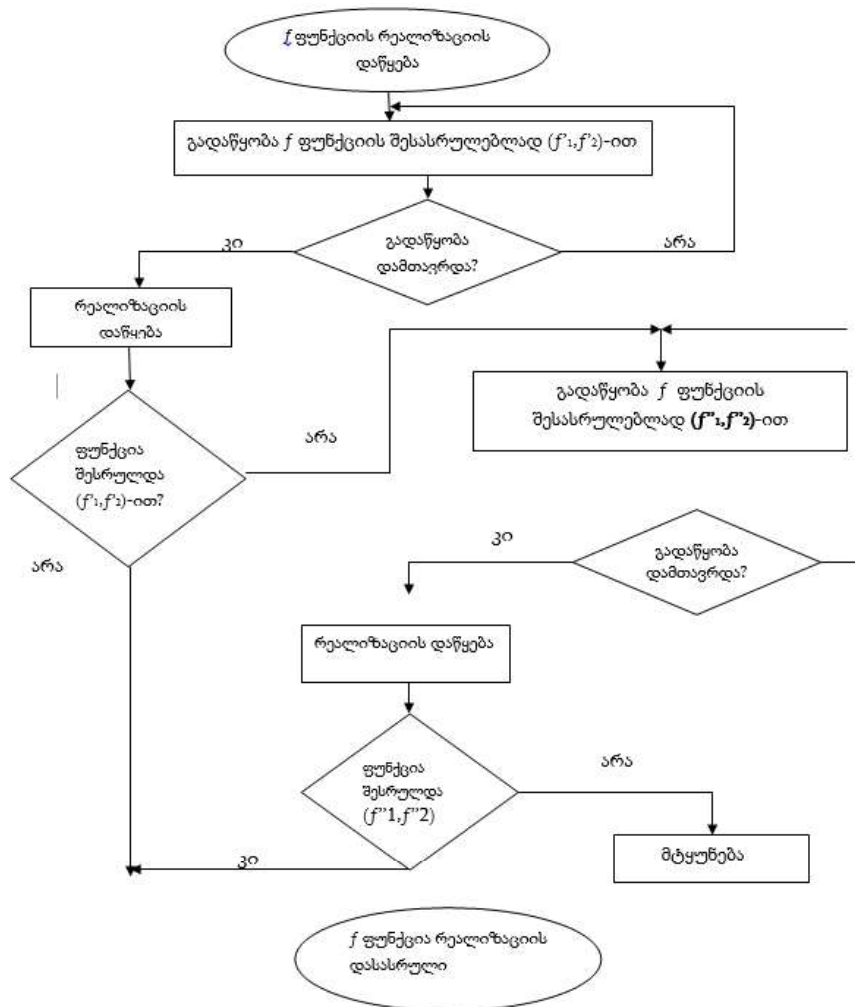
$W_{ელექტ}$ (ელექტრული) და $V'_{ოპტ}$ (ოპტიკური) შესასვლელების სიმრავლე და $W_{ელექტ}$ (ელექტრული) და $W_{ოპტ}$ (ოპტიკური) გამოსასვლელების სიმრავლე. ამგვარად, თუ სტრუქტურის აპარატურულ შემადგენლობას აღნიშნავთ B ასოთი, სტრუქტურის ფუნქციური ელემენტების რიცხვს- E -ასოთი (შესაბამისად B ელექტრული კომპონენტების შემცველი, $B_{ოპტ}$ -ოპტიკური კომპონენტების შემცველი), მაშინ ცხადია, მრავალფუნქციური ოპტოელექტრონული სტრუქტურის ყველანაირი სახის ელემენტის (სტრუქტურული კომპონენტების) კომბინირებული მონაწილეობით მრავალფუნქციურობის ზემოთხსენებული პარამეტრები (რომლებიც ამავე დროს წარმოადგენენ ფუნქციურად-გადაწყობადი სტრუქტურების საიმედოობის კრიტერიუმებს) მიიღებენ ოპტიმალური ვარიანტებით დათვლილ შესაძლებლობათა სიმრავლეს. [6]

სადაც $E_{i_{ელექტ}} < E_{ელექტ}$, $E_{i_{ოპტ}} < E_{ოპტ}$, ანალოგიურად დანარჩენი კომპონენტების $V_{i_{ელექტ}} \leq V_{ელექტ}$; $V_{i_{ოპტ}} \leq V_{ოპტ}$; $V'_{i_{ელექტ}} \leq V'_{ელექტ}$; $W_{i_{ელექტ}} \leq W'_{ელექტ}$; $W_{i_{ოპტ}} \leq W_{ოპტ}$.

სხვა რომელიმე f_i ფუნქციის შესასრულებლად საჭიროა სხვა კონფიგურაციის სტრუქტურა $B_j - B$ -დან.

მრავალფუნქციური გამომთვლელ მოდულში f_i ფუნქციის რეალიზაცია წარმოებს მიკროფუნქციების მიმდევრობითი შესრულებით, ამასთან მოდულის გადაწყობა ხორციელდება მიკროპროგრამის შესაბამისი ალგორითმის თანახმად, რომელშიც თითოეულ ოპერატორს შეესაბამება გარკვეული მიკროფუნქცია.

მაგალითად, ვთქვათ საჭიროა მოდულმა შეასრულოს რაიმე f მიზნობრივი ფუნქცია ფუნქციათა რაღაც F სიმრავლიდან. დავუშვათ, რომ ამ f ფუნქციის შესრულება შესაძლებელია ორი გზით, ე.ი. თითოეულში ორ-ორი შესაბამისი მიკროფუნქციების f'_1 , f'_2 და f''_1 , f''_2 რეალიზაციით, მაშინ მოდულის გადაწყობის ალგორითმს ექნება სურ. 4-ზე ნაჩვენები სახე.

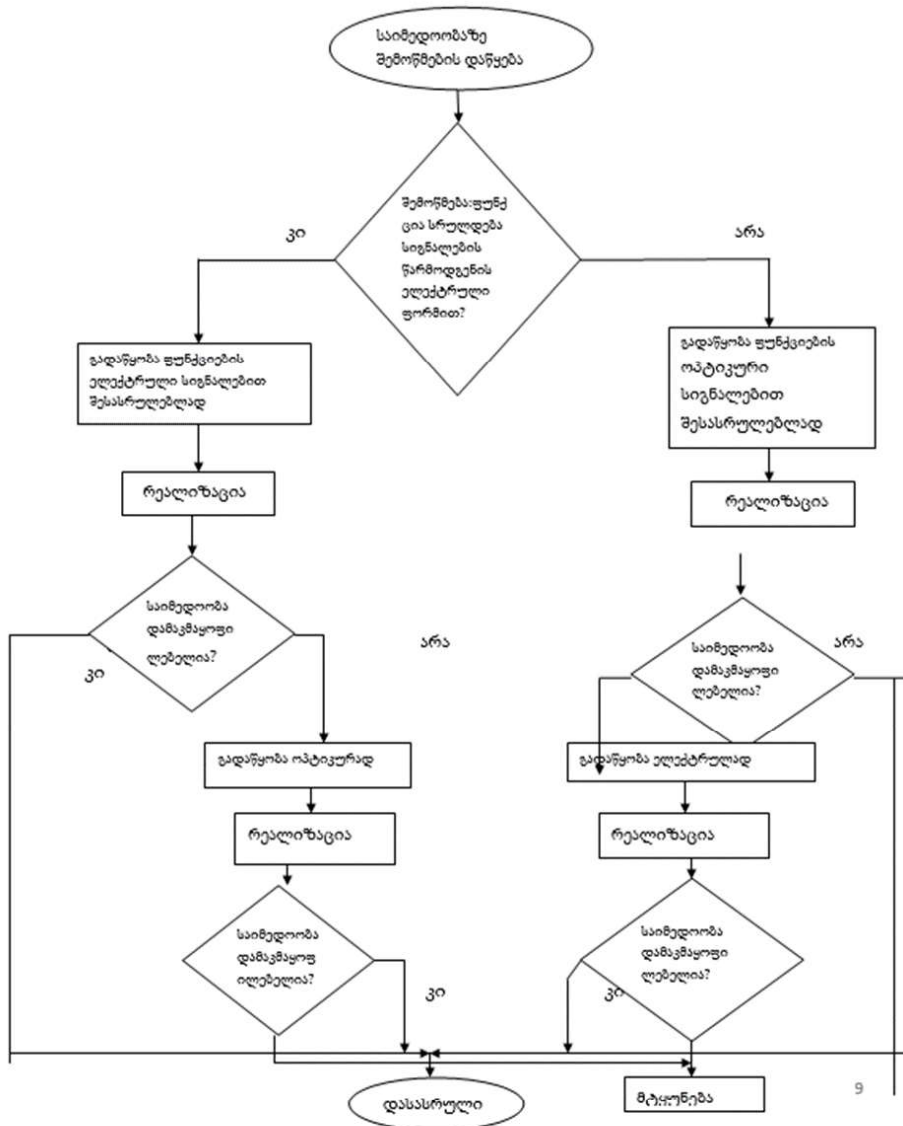


სურ.4

ზემოთ ხსენებული f მიზნობრივი ფუნქციის საერალიზაციო მიკროფუნქციებს f'_1 , f'_2 და f''_1 , f''_2 შეიძლება პრინციპში ჰქონდეთ საკუთარი რეალიზაციების სხვადასხვა ფორმა. ადვილი შესაძლებელია, რომ f მიზნობრივი ფუნქციის რეალიზაციამ მოითხოვოს მიკროფუნქციების შესრულება სიგნალის გადასვლით ერთი ფორმიდან მეორეში.

მაგალითისთვის შეიძლება აღვნიშნოთ, რომ პრაქტიკულ ამოცანებში (მათ შორის უპირველეს ყოვლისა, მმართველი ხასიათის ამოცანებში) შეიძლება არსებობდეს ისეთი მიზნობრივი ფუნქციები, რომელთა შემადგენელი ნაწილების რეალიზაცია შეიძლება უკეთესად (ოპტიმალურად) წარიმართოს თუ სიგნალე-

ბის წარმოდგენის ერთი ფორმიდან გადავალთ მეორე ფორმაში (ელექტრულიდან-ოპტიკურში, ანდა პირიქით – ოპტიკურიდან ელექტრულში). ასეთ შემთხვევებში მრავალფუნქციურობის კრიტერიუმების გათვალისწინებით ოპტო-ელექტრონული სტრუქტურის საიმედოობის კონტროლი შეიძლება წარიმართოს იმ ალგორითმის მიხედვით, რომლის ბლოკ-სქემა მოცემულია სურ.5-ზე.



სურ.5

დასკვნა: აღნიშნული ალგორითმის მიხედვით დასაწყისში წარმოებს შემოწმება იმისა, თუ მიზნობრივი ფუნქციის შესასრულებლად მისი შემადგენელი შუალედური ფუნქციები როგორი ფორმით სრულდება (ელექტრული თუ ოპტიკური სიგნალების საშუალებით). თუ ამ შემოწმების შედეგები დადებითია, მაშინ წარმოებს სტრუქტურის შესაბამისი ფუნქციური (ოპერაციული) კვანძის გადაწყობა სიგნალების ერთ-ერთ რომელიმე ფორმაში სარეალიზაციოდ. ამის შემდეგ წარმოებს მეორე შემოწმება (საიმედოობის წინასწარ განსაზღვრული კრიტერიუმების მიხედვით) საიმედოობის აკვარგიაობაზე. თუ საიმედოობა დამაკმაყოფილებელია მიზნობრივი ფუნქციის შემდეგი ქვეფუნქციების (შუალედური) შესრულება გრძელდება, წინააღმდეგ შემთხვევაში სწარმოებს ოპტოელექტრონული სტრუქტურის გადაწყობ მეორე სახის (ელექტრულიდან-ოპტიკურ სახეში, ანდა ოპტიკურიდან ელექტრულში) სიგნალებით შუალედური ფუნქციების შესრულების პროცესისთვის და მისი შემდგომი შემოწმება საიმედოობის შესაბამისი კრიტერიუმით. თუ ეს შემოწმება დადებითი შედეგებით მთავრდება, მიზნობრივი ფუნქციის შესრულება წარმატებით მთავრდება. წინააღმდეგ შემთხვევაში ადგილი აქვს მრავალფუნქციური ოპტოელექტრონული სტრუქტურის საერთო მტყუნებას და ასეთ შემთხვევაში შეფერხებების აღმოჩენა და მათი აღმოფხვრა რჩება როგორც ცალკე გამოკვლევის (მიზეზების შემოწმების) საგანი.

გამოყენებული ლიტერატურა:

1. [3]ალ-აზხავი, 2006: – ალ-აზხავი ა. ფიზიკური ოპტიკის პრინციპები და პრაქტიკა. ბოკა რატონი, FL: CRC Press Taylor & Francis Group, 2006 წ.
2. [4] ახმანოვი, 2002: – ახმანოვი. ა. და ნიკიტინი, ს. იუ; ფიზიკური ოპტიკა. New York: Oxford University Press, 2002 წ.
3. [2]ექსტაროგანიზებული ოპტიკური კომუნიკაცია Dhatchayeny, D and Chung, Y. 15, 2019, აპლიკაცია ოპტ., ტ. 58.
4. [6] Francis Arthur Jenkins and [Harvey Elliott White](#), Fundamentals of optics. NY: McGraw Hill (ISBN-13 978-0070323308) 4th Edition, First published 2001y;
5. [5]Lipson, A, Lipson, S. G და Lipson, H. Optical Physics. University, Printed in the University Press, Cambridge: 4th Edition, first published 2011y. (ISBN-13 978-0521493451)
6. [1] Optomechanical Kerker Effect. Poshakinskiy A. V. and Poddubny A. Physical Review X, Vol. 9, pp. 2160-3308. N. 1, 2019.