

არაწრფივი ელექტრონული სქემების ოპტიმალური დაპროექტების ამოცანა მრავალკრიტერიული ოპტიმიზაციის თვალსაზრისით

ნოდარ ჯიბლაძე, ლელა გაჩეჩილაძე, თეიმურაზ იმედაძე, ვასილ კუციავა
საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

რეზიუმე

განხილულია არაწრფივი ელექტრონული სქემების ოპტიმალური დაპროექტების ამოცანა, კერძოდ, კონკრეტული არაწრფივი ელექტრონული სქემის მაგალითზე ნაჩვენებია საოპტიმიზაციო მათემატიკური მოდელის შემუშავების ტექნოლოგია, რომლის საფუძველზეც აღნიშნული სქემის ოპტიმალური დაპროექტების ამოცანა დაიყვანება მრავალკრიტერიული ოპტიმიზაციის მათემატიკური დაპროგრამების ამოცანაზე. სქემის ოპტიმალური პარამეტრების განსაზღვრისათვის შემოთავაზებულია მათემატიკური და პროგრამული უზრუნველყოფა, რომლის საშუალებით ჩატარებულია გამოთვლითი ექსპერიმენტები და გაანალიზებულია მიღებული შედეგები.

საკვანძო სიტყვები: ოპტიმიზაცია. მრავალკრიტერიული ოპტიმიზაცია. პარეტო-ოპტიმალური ამონახსნი. სიმძიმის ცენტრების მეთოდი. სამისამართო დემიფრატორის მართვის სქემა. სტატიკური სიმძლავრე. სქემის გადართვის დაყოვნების დრო.

1. ამოცანის დასმა

მოცემული კონფიგურაციის ელექტრონული სქემების ოპტიმალური დაპროექტების ამოცანა შემდეგში მდგომარეობს. საჭიროა ვიპოვოთ სქემის ელემენტების ისეთი მნიშვნელობები, რომლის დროსაც ტექნიკური დავალების კონკრეტული მოთხოვნები დაკმაყოფილდება და, ამასთან, ოპტიმალობის შერჩეული კრიტერიუმები ექსტრემალურ მნიშვნელობას მიაღწევს. მათემატიკური თვალსაზრისით აღნიშნული ამოცანა, საზოგადოდ, მრავალკრიტერიული ოპტიმიზაციის ამოცანას წარმოადგენს და იგი შემდეგნაირად ჩაიწერება:

$$\min \left\{ f(x) \mid g_i(x) \leq 0, i = \overline{1, m}; a_j \leq x_j \leq b_j, j = \overline{1, n} \right\}, \quad (1)$$

სადაც $f(x) = (f_1(x), f_2(x), \dots, f_k(x))$ მიზნის ვექტორული ფუნქციაა, $g_i(x)$ წრფივი ან არაწრფივი შეზღუდვებია, რომლებიც დასაშვებ ამონახსნთა რაღაც Ω სიმრავლეს განსაზღვრავს, ხოლო a_j და b_j საოპტიმიზაციო ცვლადების მნიშვნელობებია, რომლებიც მათ შესაძლო ცვლილებათა დიაპაზონს ახსნაობს.

მრავალკრიტერიულ ამოცანებში, როგორც ცნობილია, დასაშვებ ამონახსნთა სიმრავლიდან საუკეთესო ამონახსნის ამორჩევას ახორციელებს სუბიექტი, რომელიც სრულად აგებს პასუხს მიღებულ გადაწყვეტილებაზე და მას გადაწყვეტილების მიმღები პირი ეწოდება. საზოგადოდ, გადაწყვეტილების მიმღები პირი დაინტერესებულია მიიღოს (1) ამოცანაში არსებული ყველა f_1, f_2, \dots, f_k კრიტერიუმის შეძლებისდაგვარად მინიმალური მნიშვნელობები. ამ შემთხვევაში, საუკეთესო (იდეალური) გადაწყვეტილება მისთვის იქნება ის, რომელიც მოახდენს აღნიშნული ყველა კრიტერიუმის ერთდროულად მინიმიზაციას Ω სიმრავლეზე. სამწუხაროდ, მსგავსი გადაწყვეტი-

ლებები ცხოვრებაში პრაქტიკულად არ გვხვდება. ამიტომ, როგორც წესი, საქმე გვაქვს კომპრომი-
სულ ამონახსნებთან, რომლებსაც პარეტო-ოპტიმალური ამონახსნებს უწოდებენ [1].

მრავალკრიტერიული ოპტიმიზაციის (1) ამოცანაში დასაშვებ ამონახსნთა Ω სიმრავლისა
და $f(x)$ ვექტორ-ფუნქციის კომპონენტების ამოზნექილობის (ჩაზნექილობის) შესახებ აპრიორული
ინფორმაცია არ არსებობს, ამიტომ აღნიშნული ამოცანის პარეტო-ოპტიმალური ამონახსნების გა-
ნსაზღვრა შესაძლებელია განხორციელდეს შემდეგი გამოსახულების მინიმიზაციის საფუძველზე:

$$\min_{x \in \Omega} \tilde{f}(x) = \min_{x \in \Omega} \max_{i=1,2,\dots,k} \lambda_i f_i(x) \quad (2)$$

სადაც λ_i ნამდვილი რიცხვებია, რომლებიც აკმაყოფილებენ პირობას $\lambda_i > 0, i = 1, 2, \dots, k,$

$\sum_{i=1}^k \lambda_i = 1$. ასეთ შემთხვევაში ერთი პარეტო-ოპტიმალური ამონახსნის მოსაძებნად შეიძლება გამო-

ვიყენოთ შემდეგი ალგორითმული სქემა:

- 1⁰. შემთხვევითი წესით შეირჩევა λ_i კოეფიციენტების ისეთი მნიშვნელობები, რომ შეს-
რულდეს პირობა: $\lambda_1 + \lambda_2 + \dots + \lambda_k = 1$;
- 2⁰. გამოითვლება $f(x)$ ვექტორ-ფუნქციის კომპონენტების მნიშვნელობები: $y_i(x) = \lambda_i f_i(x),$
 $i = 1, 2, \dots, k$;
- 3⁰. ვექტორ-ფუნქციის გამოთვლილ კომპონენტებს შორის აირჩევა მაქსიმალური მნიშვნელობის
მქონე კომპონენტი: $\tilde{f}(x) = \max_{i=1,2,\dots,k} \lambda_i f_i(x)$;
- 4⁰. გადაწყდება ერთკრიტერიული მინიმიზაციის შემდეგი ამოცანა:

$$\min_{x \in \Omega} \{ \tilde{f}(x) | x \in \Omega \subset R^n \}, \quad (3)$$

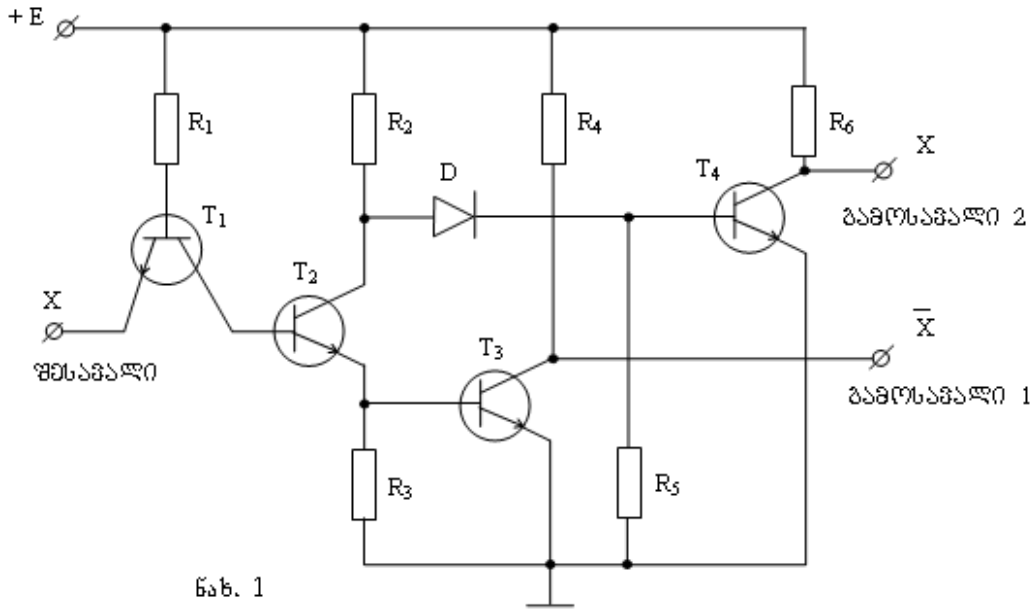
(3) ამოცანის ამოსახსნელად შესაძლებელია გამოყენებულ იქნეს ერთკრიტერიული ოპტიმი-
ზაციის მეთოდი, მაგალითად, სიმძიმის ცენტრების მეთოდი [2]. მიღებული მინიმუმი მრავალკრიტე-
რიული ოპტიმიზაციის (1) ამოცანის კომპრომისულ ამონახსნს წარმოადგენს. 1⁰ - 4⁰ პროცედურე-
ბის N რაოდენობით გამეორების შედეგად განისაზღვრება N რაოდენობის პარეტო-ოპტიმალური
ამონახსნი, საიდანაც გადაწყვეტილების მიმღები პირის მიერ ამოირჩევა საუკეთესო ვარიანტი.

მრავალკრიტერიული ოპტიმიზაციის ამოცანების გადაწყვეტის წარმოდგენილი სქემა გამოიყე-
ნება არაწრფივი ელექტრონული სქემების ოპტიმალური დაპროექტების ამოცანებში იმ შემთხვევა-
ში, თუ ეს უკანასკნელი დაიყვანება (1) საოპტიმიზაციო მოდელზე.

2. არაწრფივი ელექტრონული სქემის საოპტიმიზაციო მოდელის

შემუშავების ტექნოლოგია

მაგალითისათვის განვიხილოთ ელექტრონული პრინციპიალური სქემა დასაპროექტებელი
ობიექტისა, რომელიც მესხიერების მოწყობილობაში სამისამართო დეშიფრატორის სამართავად გა-
მოიყენება (ნახ.1)[3].

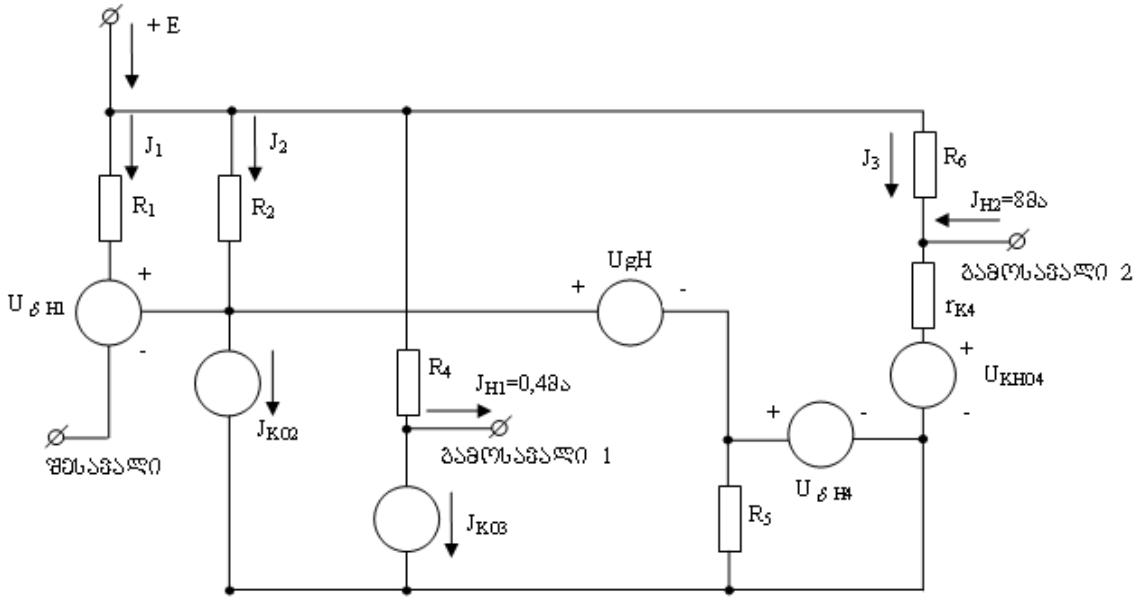


მოცემული სქემის ფორმალიზაციის მიზნით შევადგინოთ ოპტიმიზაციის მათემატიკური მოდელი, რომელშიც გათვალისწინებულ უნდა იქნეს ტექნიკური დავალების შემდეგი მოთხოვნები:

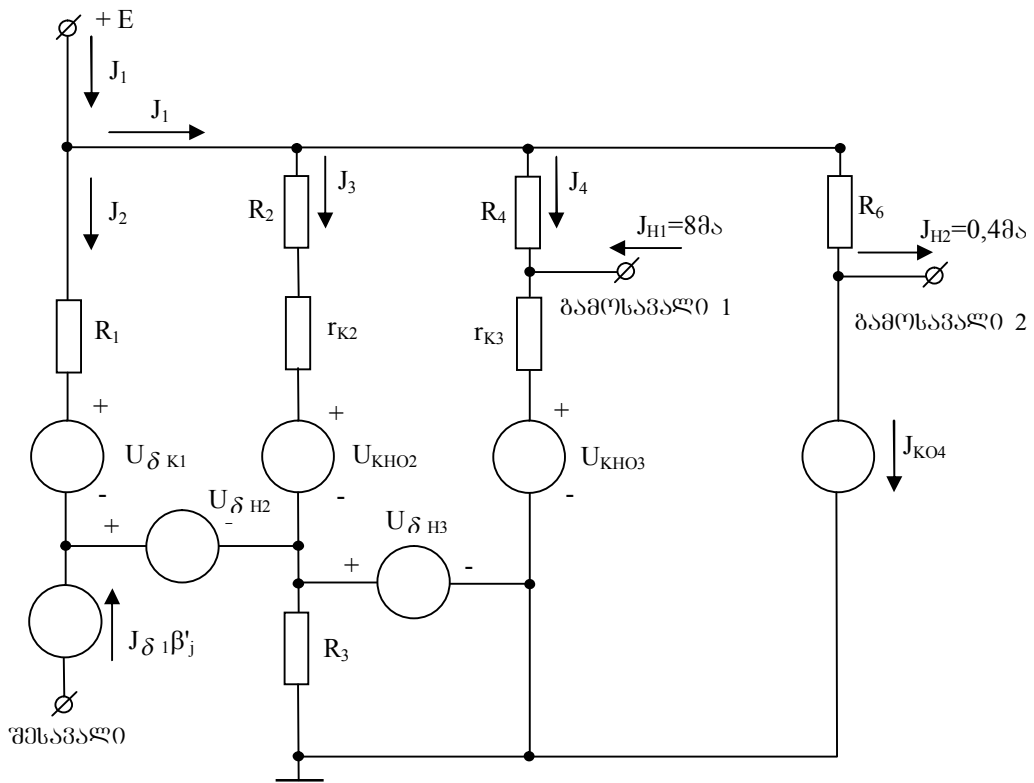
- 1) სქემა საიმედოდ უნდა მუშაობდეს ტემპერატურის ფართო დიაპაზონში: $-60^{\circ}C \leq t \leq +125^{\circ}C$;
- 2) შესავალი სიგნალის მინიმალური დონე (ლოგიკური "0") უნდა იყოს არაუმეტეს $+0.4$ ვოლტი;
- 3) შესავალი სიგნალის მაქსიმალური დონე (ლოგიკური "1") უნდა იყოს არანაკლებ $+2.4$ ვოლტი;
- 4) გამოსავალი სიგნალის მინიმალური დონე - არაუმეტეს $+0.4$ ვოლტი;
- 5) გამოსავალი სიგნალის მაქსიმალური დონე - არანაკლებ $+2.4$ ვოლტი;
- 6) გამოსავალი სიგნალის დაყოვნების საშუალო დრო - არაუმეტეს 40 ნანოწამი;
- 7) სქემის მიერ მოთხოვნილი სიმძლავრე სტატიკურ რეჟიმში - არაუმეტეს 40 მილივოლტი.

მათემატიკური მოდელის გამარტივების მიზნით, აქტიური ელემენტების არაწრფივი მოდელების ნაცვლად გამოვიყენოთ ტრანზისტორისა და დიოდის უბან-უბან წრფივი მოდელები [4] და შევადგინოთ ეკვივალენტური სქემები, რომლებიც შეესაბამება მოცემული სქემის ორ სტატიკურ მდგომარეობას:

- H მდგომარეობა, როცა სქემის შესავალზე დაბალი დონის სიგნალი (ლოგიკური "0") მიეწოდება (ნახ. 2);
- B მდგომარეობა, როცა სქემის შესავალზე მაღალი დონის სიგნალი (ლოგიკური "1") მიეწოდება (ნახ. 3).



ნახ. 2



ნახ. 3

ვინაიდან მოცემულ სქემას ორი მდგომარეობა გააჩნია, ამიტომ სტატიკური სიმძლავრე განისაზღვრება როგორც P^0 და P^1 მდგომარეობების საშუალო არითმეტიკული:

$$P = 0.5(P^0 + P^1). \quad (4)$$

სქემის მიერ H მდგომარეობაში მოხმარებული სიმძლავრე გამოისახება შემდეგნაირად:

$$P^0 = (J_1^0 + J_2^0 + J_3^0)E, \quad (5)$$

სადაც E კვების დაბვაა, ხოლო

$$J_1^0 = \frac{E - U_{\delta H1} - U_{\text{მგს.}}}{R_1}, \quad (6)$$

$$J_2^0 = \frac{E - U_{\delta H4} - U_{gH} - J_{k02}R_2}{R_2}, \quad (7)$$

$$J_3^0 = \frac{E - U_{KHO4}}{R_6 + r_{K4}}, \quad (8)$$

სადაც $U_{\delta H1}$ და $U_{\delta H4}$ შესაბამისად T_1 და T_4 ტრანზისტორების ძაბვის ვარდნებია ბაზა-ემიტერის გადასავალზე გაჯერების რეჟიმში;

U_{gH} - დიოდის გადასავალზე ძაბვის ვარდნა გაჯერების რეჟიმში;

$J_{k02} - T_2$ ტრანზისტორის უკუდენის ძალა წაკვეთის რეჟიმში;

U_{KHO4} - შესავალი ძაბვა; r_{K4} - T_4 ტრანზისტორის კოლექტორის წინაღობა.

J_1^0 , J_2^0 და J_3^0 მნიშვნელობების (5) გამოსახულებაში შეტანის შედეგად მივიღებთ:

$$P^0 = \left(\frac{E - U_{\delta H1} - U_{\text{მგს.}}}{R_1} + \frac{E - U_{\delta H4} - U_{gH} - J_{k02}R_2}{R_2} + \frac{E - U_{KHO4}}{R_6 + r_{K4}} \right) E. \quad (9)$$

H მდგომარეობაში T_4 ტრანზისტორი მუშაობს გაჯერებულ მდგომარეობაში, რაც შემდეგი თანაფარდობით შეიძლება გამოვსახოთ [5]:

$$\frac{\beta_4 J_{\delta 4}}{J_{KH4}} \geq S, \quad (10)$$

სადაც β_4 ტრანზისტორის გაძლიერების სტატიკური კოეფიციენტი, $J_{\delta 4}$ - ბაზური დენის ძალა გაჯერების რეჟიმში; J_{KH4} - გაჯერებული ტრანზისტორის კოლექტორული დენის ძალა; S - გაჯერების კოეფიციენტი, $S = 1.2$.

განვსაზღვროთ T_4 ტრანზისტორის $J_{\delta 4}$ და J_{KH4} :

$$J_{\delta 4} = J_2 - \frac{U_{\delta H4}}{R_5} = \frac{E - U_{\delta H4} - U_{gH} - J_{k02}R_2}{R_2} - \frac{U_{\delta H4}}{R_5}, \quad (11)$$

$$J_{KH4} = J_3 + J_{\Gamma 2}^0 = \frac{E - U_{KHO4}}{R_6 + r_{K4}} + J_{\Gamma 2}^0, \quad (12)$$

სადაც $J_{\Gamma 2}^0 = 8$ მილიამპერი დენის ეკვივალენტური გენერატორია. უკანასკნელი მონაცემების (10) გამოსახულებაში ჩასმის შედეგად მივიღებთ T_4 ტრანზისტორის გაჯერების პირობას:

$$\beta_4 \left(\frac{E - U_{gH} - U_{\delta H4} - J_{KO2} R_2}{R_2} - \frac{U_{\delta H4}}{R_5} \right) \frac{1}{\frac{E - U_{KHO4}}{R_6 + r_{k4}} + 8} \geq 1.2. \quad (13)$$

ტექნიკური მოთხოვნების შესაბამისად, დატვირთვის სქემის ნორმალური მუშაობისათვის აუცილებელია გამოსავალი ძაბვების გარკვეული ღონეები შევინარჩუნოთ. ამიტომ პირობები, რომლებიც ამ შეზღუდვებს ითვალისწინებს, შეიძლება შემდეგნაირად გამოვსახოთ:

$$U_{\gamma a1} = E - (J_{\Gamma 1}^0 + J_{KO3}) R_4 \geq 2.4, \quad (14)$$

$$U_{\gamma a2} = U_{KHO4} + \left(J_{\Gamma 2}^0 + \frac{E - U_{KHO4}}{R_6 + r_{K4}} \right) r_{K4} \leq 0.4, \quad (15)$$

სადაც $J_{\Gamma 1}^0 = 0.4$ მილიამპერი.

В მდგომარეობაში სქემის მიერ მოთხოვნილი სიმძლავრე (5) გამოსახულების ანალოგიურად განისაზღვრება:

$$P^1 = (J_2^1 + J_3^1 + J_4^1) E, \quad (16)$$

$$J_2^1 = \frac{E - U_{\delta K1} - U_{\delta H2} - U_{\delta H3}}{R_1}, \quad (17)$$

$$J_3^1 = \frac{E - U_{KHO2} - U_{\delta H3}}{R_2 + r_{K2}}, \quad (18)$$

$$J_4^1 = \frac{E - U_{KHO3}}{R_4 + r_{K3}}, \quad (19)$$

სადაც $U_{\delta K1}$ ძაბვის ვარდნაა T_1 ტრანზისტორის ბაზა-კოლექტორის გადასავალზე; $U_{\delta H2}$ და $U_{\delta H3}$ - შესაბამისად გაჯერებული T_2 და T_3 ტრანზისტორების ბაზა-ემიტერის გადასავალზე მოდებული ძაბვის ვარდნები; r_{K2} და r_{K3} - შესაბამისად T_2 და T_3 ტრანზისტორების კოლექტორის წინაღობები.

J_2^1 , J_3^1 და J_4^1 მნიშვნელობების (16) გამოსახულებაში შეტანის შედეგად მივიღებთ:

$$P^1 = \left(\frac{E - U_{\delta K1} - U_{\delta H2} - U_{\delta H3}}{R_1} + \frac{E - U_{KHO2} - U_{\delta H3}}{R_2 + r_{K2}} + \frac{E - U_{KHO3}}{R_4 + r_{K3}} \right) E. \quad (20)$$

В მდგომარეობაში T_2 და T_3 ტრანზისტორები გაჯერებულია, ამიტომ გაჯერების პირობები შემდეგნაირად გამოისახება:

$$\frac{\beta_2 J_{\delta 2}}{J_{KH2}} \geq 1.2, \quad \frac{\beta_3 J_{\delta 3}}{J_{KH3}} \geq 1.2. \quad (21)$$

ეკვივალენტური სქემიდან განვსაზღვროთ:

$$J_{\delta 2} = J_{K1} = J_{\delta 1} (1 + \beta'_i) = J_2 (1 + \beta'_i) = \frac{E - U_{\delta K1} - U_{\delta H2} - U_{\delta H3}}{R_1} (1 + \beta'_i), \quad (22)$$

$$J_{KH2} = J_3 = \frac{E - U_{KHO2} - U_{\delta H3}}{R_2 + r_{K2}}, \quad (23)$$

$$J_{\delta 3} = J_{\delta 2} + J_{KH2} - \frac{U_{\delta H3}}{R_3} = \frac{E - U_{\delta K1} - U_{\delta H2} - U_{\delta H3}}{R_1} (1 + \beta'_i) + \frac{E - U_{KHO2} - U_{\delta H3}}{R_2 + r_{K2}} - \frac{U_{\delta H3}}{R_3}, \quad (24)$$

$$J_{KH3} = \frac{E - U_{KHO3}}{R_4 + r_{K3}} + J_{I1}^1, \quad (25)$$

სადაც β'_i T_1 -ტრანზისტორის გაძლიერების ინვერსიული კოეფიციენტია, ხოლო $J_{I1}^1 = 8$ მილიამპერი.

უკანასკნელი მონაცემების (21) გამოსახულებებში ჩასმის შედეგად მივიღებთ:

$$\frac{\beta_2 \frac{E - U_{\delta K1} - U_{\delta H2} - U_{\delta H3}}{R_1} (1 + \beta'_i)}{\frac{E - U_{KHO2} - U_{\delta H3}}{R_2 + r_{K2}}} \geq 1.2, \quad (26)$$

$$\frac{\beta_3 \left[\frac{E - U_{\delta K1} - U_{\delta H2} - U_{\delta H3}}{R_1} (1 + \beta'_i) + \frac{E - U_{KHO2} - U_{\delta H3}}{R_2 + r_{K2}} - \frac{U_{\delta H3}}{R_3} \right]}{\frac{E - U_{KHO3}}{R_4 + r_{K3}} + 8} \geq 1.2. \quad (27)$$

B მდგომარეობაში გამოსავალი სიგნალების გარკვეულ დონეებზე შენარჩუნების პირობები (14) და (15) გამოსახულებების ანალოგიურია:

$$U_{\delta \text{ამ}1} = U_{KHO3} + \left(J_{I1}^1 + \frac{E - U_{KHO3}}{R_4 + r_{K3}} \right) r_{K3} \leq 0.4, \quad (28)$$

$$U_{\delta \text{ამ}2} = E - (J_{I2}^1 + J_{KO4}) R_6 \geq 2.4, \quad (29)$$

სადაც $J_{I2}^1 = 0.8$ მილიამპერი.

(9) და (20) გამოსახულებების (4)-ში შეტანის შედეგად მივიღებთ სტატიკურ რეჟიმში სქემის მიერ მოხმარებული სიმძლავრის ანალიზურ გამოსახულებას:

$$P = 0.5 \left(\frac{E - U_{\delta H1} - U_{\text{ფს}}}{R_1} + \frac{E - U_{\delta H4} - U_{\text{გH}} - J_{k02} R_2}{R_2} + \frac{E - U_{KHO4}}{R_6 + r_{K4}} + \frac{E - U_{\delta K1} - U_{\delta H2} - U_{\delta H3}}{R_1} + \frac{E - U_{KHO2} - U_{\delta H3}}{R_2 + r_{K2}} + \frac{E - U_{KHO3}}{R_4 + r_{K3}} \right) E \quad (30)$$

როგორც ცნობილია, არაწრფივი სქემის მუშაობის ძირითად მახასიათებელს იმპულსურ რეჟიმში წარმოადგენს გადართვის დაყოვნების დრო, რომელიც განისაზღვრება როგორც ძაბვის სიგნალის წინა და უკანა ფრონტების საშუალო დრო:

$$t_{\text{დაფ}} = 0.5(t_1 + t_2) \quad (31)$$

ლოგიკური სქემებისათვის წინა ფრონტის დაყოვნების t_1 დრო განისაზღვრება როგორც სხვაობა დროის იმ მომენტებს შორის, როცა შესავალი და გამოსავალი ძაბვის სიგნალები თავიანთი მაქსი-

მალური ღონის 50%-სიდიდეს მიაღწევს, ხოლო უკანა ფრონტის დაყოვნების t_2 დრო განისაზღვრება როგორც სხვაობა დროის იმ მომენტებს შორის, როცა შესავალი და გამოსავალი ძაბვის სიგნალები თავიანთი მაქსიმალური ღონიდან 50%-სიდიდით შემცირდება.

$t_{\text{დაფ}}$ -ის ანალიზურად გამოთვლა დიდ სიძნელეებთან არის დაკავშირებული, რადგან იგი მაღალი რიგის დიფერენციალური განტოლების ამოხსნას საჭიროებს. ამიტომ მის გამოსათვლელად გამოყენებულ იქნა ტეილორის დაშლის ფორმულა:

$$t_{\text{დაფ}} \approx \bar{t}_{\text{დაფ}} + \sum_{i=1}^n \frac{\partial t_{\text{დაფ}}}{\partial R_i} (R_i - \bar{R}_i), \quad (32)$$

სადაც $\bar{t}_{\text{დაფ}} = t_{\text{დაფ}}(R_1 = \bar{R}_1, R_2 = \bar{R}_2, \dots, R_n = \bar{R}_n)$, ხოლო $\bar{R}_1, \bar{R}_2, \dots, \bar{R}_n$ - რეზისტორების ნებისმიერი დასაშვები მნიშვნელობებია.

რადგან მოცემულ სქემას ორი გამოსავალი გააჩნია და, ამასთან, ადგილი აქვს შემდეგ მიხედვით ტოლობას $\frac{\partial t_{\text{დაფ}}}{\partial R_i} \approx \frac{\Delta t_{\text{დაფ}}}{\Delta R_i}$, ამიტომ გვექნება

$$t_{\text{დაფ}1} = \bar{t}_{\text{დაფ}1} + \sum_{i=1}^6 \frac{\Delta t_{\text{დაფ}1}}{\Delta R_i} (R_i - \bar{R}_i) \leq \tilde{t}_{\text{დაფ}1}, \quad (33)$$

$$t_{\text{დაფ}2} \approx \bar{t}_{\text{დაფ}2} + \sum_{i=1}^6 \frac{\Delta t_{\text{დაფ}2}}{\Delta R_i} (R_i - \bar{R}_i) \leq \tilde{t}_{\text{დაფ}2}, \quad (34)$$

სადაც $\tilde{t}_{\text{დაფ}1}$ და $\tilde{t}_{\text{დაფ}2}$ შესაბამისი პარამეტრების ზღვრული დასაშვები მნიშვნელობებია.

$\frac{\Delta t_{\text{დაფ}1}}{\Delta R_i}$ და $\frac{\Delta t_{\text{დაფ}2}}{\Delta R_i}$ კოეფიციენტები ექსპერიმენტის საფუძველზე განისაზღვრება, რისთვისაც

შესაძლებელია ელექტრონული სქემების ანალიზის ნებისმიერი კომპიუტერული პროგრამის გამოყენება. ექსპერიმენტის შედეგები წარმოდგენილია 1-ლ ცხრილში.

მიღებული შედეგების (31) და (32) გამოსახულებებში ჩასმის შედეგად მივიღებთ:

$$t_{\text{დაფ}1} = 28.62 - 0.2(R_2 - 3) + 0.525(R_3 - 2) + 3.76(R_4 - 2.4) \leq \tilde{t}_{\text{დაფ}1}, \quad (35)$$

$$t_{\text{დაფ}2} = 36 - (R_1 - 4) + 3.333(R_2 - 3) + 0.7(R_5 - 5) + 5(R_6 - 2.4) \leq \tilde{t}_{\text{დაფ}2}. \quad (36)$$

ზემოთ მოყვანილ გამოსახულებებში დამოუკიდებელ ცვლადებს სქემის პასიური ელემენტები წარმოადგენს: R_1, R_2, R_3, R_4, R_5 და R_6 , რომელთა მნიშვნელობების შესაძლო ცვლილების დიაპაზონი სქემოტექნიკური მოსაზრებებით შეზღუდულია:

$$1.0(\text{კომი}) \leq R_i \leq 5.0(\text{კომი}), \quad i = \overline{1,6}. \quad (37)$$

№	R_1 კომი	R_2 კომი	R_3 კომი	R_4 კომი	R_5 კომი	R_6 კომი	$\Delta t_{\text{დაყ.1}}$ წმამი	$\Delta t_{\text{დაყ.2}}$ წმამი	$\frac{\Delta t_{\text{დაყ.1}}}{\Delta R_i}$	$\frac{\Delta t_{\text{დაყ.2}}}{\Delta R_i}$
1	4.0	3.0	2.0	2.4	5.0	2.4	28.62	36.0	-	-
2	4.8	3.0	2.0	2.4	5.0	2.4	28.62	35.2	0	-1.0
3	4.0	3.6	2.0	2.4	5.0	2.4	28.50	38.0	-0.2	3.333
4	4.0	3.0	2.4	2.4	5.0	2.4	28.83	0	0.525	0
5	4.0	3.0	2.0	2.9	5.0	2.4	30.50	0	3.76	0
6	4.0	3.0	2.0	2.4	6.0	2.4	28.62	36.7	0	0.7
7	4.0	3.0	2.0	2.4	5.0	2.9	28.62	38.5	0	5.0

შეზღუდულია, აგრეთვე, ტრანზისტორების კოლექტორული დენის ძალების მნიშვნელობები. ასე, მაგალითად, T_2 ტრანზისტორისათვის მაქსიმალურად დასაშვები კოლექტორული დენის ძალის მნიშვნელობაა 3 მილიამპერი, ხოლო T_3 და T_4 ტრანზისტორისათვის - 15 მილიამპერი. ტემპერატურის მოცემულ დიაპაზონში სქემის ნორმალური ფუნქციონირების შესაფასებლად საჭიროა ვისარგებლოთ ზღვრული გამოცდების მეთოდით, რომლის თანახმად, სქემის მუშაუნარიანობა შესავალი პარამეტრებისა და გარე პირობების ყველაზე უარესი მნიშვნელობების დროს განისაზღვრება.

ზღვრული გამოცდების შედეგებისა და აქტიური ელემენტების ელექტრო-ფიზიკური პარამეტრების რიცხვითი მნიშვნელობების გათვალისწინებით, ზემოთ მიღებული თანაფარდობების საფუძველზე შედგენილ იქნა დასაპროექტებელი ელექტრონული სქემის საოპტიმიზაციო მათემატიკური მოდელი, რომელსაც აქვს შემდეგი სახე:

$$f_1(R_1, R_2, \dots, R_6) = P = \frac{19.55}{R_1} + \frac{12.3}{R_2 + 0.011} + \frac{15.0}{R_4 + 0.005} + \frac{9.63}{R_2} + \frac{15.0}{R_6 + 0.005}, \quad (38)$$

$$f_2(R_1, R_2, \dots, R_6) = t_{\text{დაყ.}} = 5R_6 + 0.7R_5 + 3.333R_2 - R_1 + 14.501, \quad (39)$$

$$\frac{(R_4 + 0.005)[R_3(48.3R_1 + 23.4R_2 + 0.2574) - R_1(14R_2 + 0.154)]}{R_1R_3(R_2 + 0.011)(8R_4 + 4.49)} \geq 12, \quad (40)$$

$$\frac{7.3R_2 + 0.0803}{R_1} \geq 1.2, \quad (41)$$

$$\frac{(R_6 + 0.005)(35.4R_5 - 14R_2)}{R_2R_5(8R_6 + 4.49)} \geq 12, \quad (42)$$

$$\frac{4.8}{R_2 + 0.017} \leq 3, \quad (43)$$

$$\frac{8R_4 + 5.49}{R_4 + 0.005} \leq 15, \quad (44)$$

$$\frac{8R_6 + 5.49}{R_6 + 0.005} \leq 15, \quad (45)$$

$$0.8R_4 \leq 2.1, \quad (46)$$

$$0.8R_6 \leq 2.1, \quad (47)$$

$$\frac{0.114R_4 + 0.044912}{R_4 + 0.008} \leq 0.4, \quad (48)$$

$$\frac{0.114R_6 + 0.044912}{R_6 + 0.008} \leq 0.4, \quad (49)$$

$$3.76R_4 + 0.525R_3 - 0.2R_2 + 19.146 \leq 40, \quad (50)$$

$$\frac{23.6}{R_1} + \frac{13.3}{R_2 + 0.017} + \frac{12.3}{R_4 + 0.008} + \frac{11.7}{R_2} + \frac{12.3}{R_6 + 0.008} \leq 40, \quad (51)$$

$$0 \leq |R_4 - R_6| \leq 0.01, \quad (52)$$

$$1.0 \leq R_i \leq 5.0, \quad i = \overline{1, 6}. \quad (53)$$

უტოლობათა სისტემაში (52) შეზღუდვის შემოტანა გაპირობებულია R_4 და R_6 წინააღმდეგობების მიახლოებითი ტოლობის შესანარჩუნებლად: $R_4 \approx R_6$.

ამგვარად, მოცემული ელექტრონული სქემის ოპტიმალური დაპროექტების (38)-(53) ამოცანა დაყვანილ იქნა მრავალკრიტერიული ოპტიმიზაციის ამოცანაზე და იგი შემდეგში მდგომარეობს: საჭიროა განისაზღვროს: R_1, R_2, R_3, R_4, R_5 და R_6 რეზისტორების ისეთი მნიშვნელობები, რომლის დროსაც სქემის სტატიკური სიმძლავრე (38) და სქემის გადართვის დაყოვნების დრო (39) თავის მინიმალურ მნიშვნელობას მიაღწევს უტოლობათა (40)-(53) სისტემის დაკმაყოფილების დროს.

3. გამოთვლითი ექსპერიმენტის შედეგები

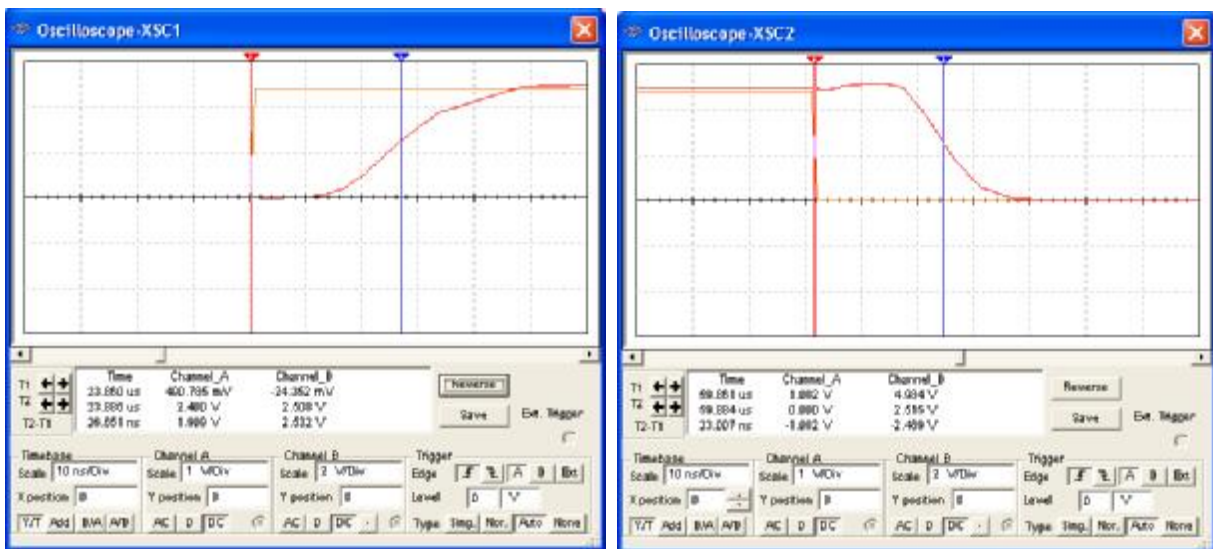
მრავალკრიტერიული ოპტიმიზაციის (38)-(53) ამოცანა გადაწყვეტილ იქნა ზემოთ შემოთავაზებული ალგორითმული სქემის საფუძველზე შემუშავებული პროგრამული უზრუნველყოფის საშუალებით, რომელშიც გამოყენებულია სიმძიმის ცენტრების მეთოდი ერთკრიტერიული ოპტიმიზაციის ამოცანების გადასაწყვეტად.

მე-2 ცხრილში წარმოდგენილია გამოთვლითი ექსპერიმენტით მიღებული პარეტო-ოპტიმალური ამონახსნები, საიდანაც შერჩეული იქნა ის კომპრომისული ამონახსნი, რომელიც შეესაბამება სქემის მიერ მოთხოვნილ მინიმალურ სიმძლავრეს: $P^* = f_1(R) = 23.5106$ მილივატი და სქემის გადართვის მინიმალურ დროს $t_{\text{დ.ყ.}}^* = f_2(R) = 22.9738$ ნანოწამი. კერძო კრიტერიუმების აღნიშნული მნიშვნელობები მიიღწევა რეზისტორების შემდეგი ოპტიმალური მნიშვნელობებისას: $R_1^* = 4.82$ კომი, $R_2^* = 2.01$ კომი, $R_3^* = 4.63$ კომი, $R_4^* = 1.12$ კომი, $R_5^* = 1.44$ კომი, $R_6^* = 1.12$ კომი.

ცხრ.2

№	$\tilde{f}(R)$	$f_1(R)$	$f_2(R)$	R_i (კომი)		
1.	10.3078	14.6096	35.0066	$R_1 = 4.35$, $R_4 = 2.30$,	$R_2 = 3.41$, $R_5 = 2.84$,	$R_3 = 3.39$, $R_6 = 2.30$.
2.	13.3837	13.4824	38.3939	$R_1 = 4.70$, $R_4 = 2.32$,	$R_2 = 4.28$, $R_5 = 3.83$,	$R_3 = 3.48$, $R_6 = 2.33$.
3.	10.1738	13.8741	37.0253	$R_1 = 4.58$, $R_4 = 2.30$,	$R_2 = 3.95$, $R_5 = 3.43$,	$R_3 = 2.74$, $R_6 = 2.31$.
4.	19.7741	20.2646	26.6166	$R_1 = 4.09$, $R_4 = 1.54$,	$R_2 = 2.12$, $R_5 = 2.03$,	$R_3 = 2.63$, $R_6 = 1.54$.
5.	17.6691	23.5106	22.9738	$R_1 = 4.82$, $R_4 = 1.12$,	$R_2 = 2.01$, $R_5 = 1.44$,	$R_3 = 4.63$, $R_6 = 1.12$.
6.	11.0872	16.5291	29.0072	$R_1 = 4.82$, $R_4 = 1.91$,	$R_2 = 2.63$, $R_5 = 1.40$,	$R_3 = 4.21$, $R_6 = 1.92$.
7.	21.2501	22.8014	25.9212	$R_1 = 4.01$, $R_4 = 1.19$,	$R_2 = 2.29$, $R_5 = 2.62$,	$R_3 = 4.08$, $R_6 = 1.19$.

რეზისტორების ოპტიმალური მნიშვნელობების მიხედვით კომპიუტერული პროგრამის Electronics Workbench-ის საშუალებით ჩატარდა მოცემული ელექტრონული სქემის გარდამავალი პროცესის კომპიუტერული ანალიზი [6], რომლის შედეგები წარმოდგენილია მე-4 ნახაზზე.



ნახ.4

როგორც ნახაზიდან ჩანს, ექსპერიმენტული შედეგები დამაკმაყოფილებელია და ისინი დასაშვები სიზუსტით მიესადაგება თეორიულად გამოთვლილ შედეგებს.

4. დასკვნა

არაწრფივი ელექტრონული სქემების ოპტიმალური დაპროექტების ამოცანა, საზოგადოდ, მრავალკრიტერიული ოპტიმიზაციის მათემატიკური დაპროგრამების ამოცანას წარმოადგენს. აღნიშნული ამოცანების გადასაწყვეტად შემუშავებულია მათემატიკური და პროგრამული უზრუნველყოფა, რომლის საშუალებითაც განსაზღვრულია კონკრეტული დასაპროექტებელი ობიექტის - სამისა-

მართო დეზიფრატორის მართვის სქემის ოპტიმალური პარამეტრები. მიღებული შედეგების საფუძველზე შეიძლება დავასკვნათ, რომ შემუშავებული პროგრამული სისტემა პარეტო-ოპტიმალური ამონახსნების მარტივად, სწრაფად და დასაშვები სიზუსტით განსაზღვრის საშუალებას იძლევა.

ლიტერატურა

1. Ногин В.Д. и др. Основы теории оптимизации. М.:Высшая школа, 1986.
2. ჯიბლაძე ნ., თოფჩიშვილი ა. სტატისტიკური ოპტიმიზაციის რიცხვითი მეთოდები (მონოგრაფია). თბილისი: მართვის სისტემების ინსტიტუტის გამომცემლობა, 2001.
3. Джибладзе Н.И., Вепхвадзе Т.М. Оптимальный расчет параметров ИС методом Ψ -преобразования. Электронная техника, серия VI, Микроэлектроника, 1977, 1.
4. Анализ и расчет интегральных схем. Под ред. Д.Линна, Ч.Мейера, Д.Гамильтона, т.1,2. М.:Мир, 1969.
5. Наумов Ю.Е. Интегральные логические схемы. М.:Советское радио, 1970.
6. კუციავა ვ. და სხვ. ელექტრონული ლაბორატორია კომპიუტერზე (პროგრამა Electronics Workbench და მისი გამოყენება). თბილისი: ტექნიკური უნივერსიტეტი, 2003.

THE PROBLEM OF OPTIMAL DESIGNING OF NONLINEAR ELECTRONIC CIRCUITS FROM POINT OF VIEW OF MULTICRITERIA OPTIMIZATION

Jibladze Nodar, Gachechiladze L., Imedadze T., Kutsiava V.
Georgian Technical University

Summary

Based on technology of mathematic model working-out, the task of optimal designing of the concrete nonlinear electronic circuit is brought to a mathematical programming of multicriteria optimization. With the aim to find circuit's optimal parameters we, based on the sample of concrete nonlinear circuit, propose both mathematical and program software used for computations and results' analysis.

ЗАДАЧА ОПТИМАЛЬНОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ НЕЛИНЕЙНЫХ ЭЛЕКТРОННЫХ СХЕМ С ТОЧКИ ЗРЕНИЯ МНОГОКРИТЕРИАЛЬНОЙ ОПТИМИЗАЦИИ

Джибладзе Н., Гачечиладзе Л., Имедадзе Т., Куциава В.
Грузинский технический Университет

Резюме

На примере конкретной нелинейной электронной схемы показана технология разработки математической модели, на основе которой задача оптимального проектирования данной схемы сведена к задаче математического программирования многокритериальной оптимизации. Для нахождения оптимальных параметров схемы предложено математическое и программное обеспечение, с помощью которого проведены вычислительные эксперименты и проанализированы полученные результаты.