

ელექტროენერგეტიკულ სისტემაში განუსაზღვრელობის პირობებში აქტიური სიმძლავრის ოპერატიული რეზერვის ოპტიმალური დაგეგმვა

დ. ჯაფარიძე, თ. მაღრაძე

დასაბუთებულია ელექტროენერგეტიკულ სისტემაში აქტიური სიმძლავრის ოპერატიული რეზერვის ოპტიმალური დაგეგმვის აუცილებლობა და შესწავლილია შესაბამისი მსოფლიო გამოცდილება. შემუშავებულია აქტიური სიმძლავრის მოცდენის შეფასების ზოგადი ალბათურ-ვარიანტული ალგორითმი, არამკაფიო ღირებულების მეთოდის გამოყენებით ცალკეული დატვირთვის კვანძების და მთლიანად ელექტროენერგეტიკული სისტემის საიმედოობის დონეების და მისაღები რისკების განმსაზღვრელი მეთოდოლოგია. შემუშავებულია ელექტროენერგეტიკული სისტემის ოპერატიული რეზერვის ყოველსაათობრივი რაოდენობის განმსაზღვრელი ალგორითმი. პარალელურად მომუშავე გენერატორებზე ყოველსაათობრივად განხორციელებულია ოპერატიული რეზერვის და ელექტროენერგეტიკულ სისტემაში სიმძლავრეთა განაწილების სიმულაცია ნორმალური და ავარიული რეჟიმების დროს. ელექტროენერგეტიკულ სისტემაში არსებული ელექტროგადაცემის ხაზებში დროის გარკვეულ მონაკვეთში გამტარუნარიანობის არსებობის შემთხვევისთვის შემუშავდა ოპტიმიზაციის ზოგადი ფუნქცია შეზღუდვებით და შესაბამისი მაკორექტირებელი ალგორითმი, რომელიც ახდენს რეზერვის და სიმძლავრეთა ისეთ გადანაწილებას სისტემაში, რომ ნორმალური და ავარიული რეჟიმების დროს არსებული გადატვირთული ელექტროგადაცემის ხაზი ან ხაზები განიტვირთება. შემუშავებული მეთოდიკის პრაქტიკაში აპრობაციის მიზნით მაგალითისათვის განხილულია ელექტროენერგეტიკული სისტემა და მიღებულია შესაბამისი შედეგი.

საკვანძო სიტყვები: ელ.სისტემა, რეზერვი, აქტიური სიმძლავრე, არამკაფიო ღირებულება, ალგორითმი, საიმედოობა, რისკი

ელექტროენერგეტიკულ სისტემებში მაგენინირებელი სიმძლავრეების რეზერვირება წარმოადგენს სისტემის ფუნქციონირების საიმედოობის ამაღლების ერთ-ერთ უმნიშვნელოვანეს ფაქტორს. სიმძლავრის ოპერატიული რეზერვის აუცილებელი სიდიდის, ოპტიმალური სტრუქტურის შენარჩუნების და მობილურობის შექმნა რთული საანგარიშო და საექსპლუატაციო ამოცანაა. ამ ამოცანის ეფექტურად გადაწყვეტა ელექტროენერგეტიკულ სისტემას საშუალებას აძლევს დროულად მოახდინოს აქტიური სიმძლავრის დაუბალან-სებლობის კომპენსაცია და განახორციელოს თავისი ძირითადი ფუნქცია, სათანადო ხარისხის ელექტროენერგიით მომხმარებლების უწყვეტი მომარაგება.

მუშაობის ნორმალური და ავარიული რეჟიმების რეალიზაციის პირობებში ქვეყნის ელექტროენერგეტიკული სისტემისათვის სიმძლავრის რეზერვირების სირთულე და პრობლემის აქტუალობა განპირობებულია ელექტროსადგურების და ქსელების ძირითადი მოწყობილობების სიძველით, სათბობის ბალანსის სტრუქტურის არახელსაყრელი ცვლილებით და მისი შესრულების სირთულით, სიმძლავრის რეზერვირების ნორმატიული და მარეგლამენტირებელი დოკუმენტების არასრულყოფილებით.

პრობლემის აქტუალობიდან გამომდინარე უკანასკნელ ათწლეულში მსოფლიოში სიმძლავრის ოპერატიული რეზერვის ოპტიმალური დაგეგმვის სხვადასხვა ასპექტებთან დაკავშირებული კვლევები საკმაოდ ინტენსივობით წარმოებს [4,5,6,7,8,9,10,11]. ამ შრომებში დასაბუთებულია იმის აუცილებლობა, რომ მოცემული მომენტისათვის ჩასატარებელია გეგმაზომიერი სამუშაოები თეორიულ-ალბათობრივი ანალიზისა და ელექტროენერგეტიკულ სისტემებში საექსპლუატაციო შეშფოთებების შემთხვევითი პროცესების მახასიათებლების სტატისტიკურ შეფასებასა და მათ ურთიერთკავშირზე სისშირის და აქტიური სიმძლავრის ავტომატური რეგულირების თანამედროვე

პრინციპების ნორმატიულ საფუძვლებზე, აგარიული ურთიერთდახმარების განხორციელების პრინციპებზე და ოპერატიული რეზერვების სხვა პრობლემებზე. მათ შორის სხვა ელექტროენერგეტიკულ სისტემებთან ინტეგრაციის პერსპექტივასთან დაკავშირებულ საკითხებზე.

აქვე ხაზი უნდა გაესვას იმ ფაქტს, რომ ელექტროენერგეტიკული სისტემების აქტიური სიმძლავრეების რეზერვის მობილობის და სიდიდის განსაზღვრის არსებული მეთოდოლოგია მთელი სისრულით ვერ პასუხობს პრაქტიკის მოთხოვნებს, რადგანაც სუსტად არის ორიენტირებული დროის ინტეგრაციაში ავტომატურ და ოპერატიულ მართვაში გამოსაყენებლად.

ელექტროენერგეტიკული სისტემების ოპერატიული რეზერვის ოპტიმალური დაგეგმვის პრაქტიკაში ფართოდ არის გამოყენებული დეტერმინირებული და ალბათური მეთოდები [6,7,8,9,11].

მსოფლიოს განვითარებული ქვეყნების ელექტროენერგეტიკულ სისტემებს გააჩნიათ ოპერატიული რეზერვის დადგენის განსხვავებული კრიტერიუმები [3,11], რომელთა ჩამონათვალი მოცემულია ცხრ. 1-ში

სხვადასხვა ქვეყნების ელექტროენერგეტიკული სისტემის ოპერატიული რეზერვის მოთხოვნები

ცხრილი 1

ელექტროენერგეტიკული სისტემა	კრიტერიუმი (R_d^t)
საქართველო	მოსმარების მინიმუმ 10% Minimum $10\%P_i^t$ (1)
ავსტრალია და ახალი ზელანდია	$\max(P_i^t)$ (2)
BC Hydro (კანადა)	$\max(P_i^{max})$ (3)
Manitoba Hydro (კანადა 2)	$80\% \max(P_i^{max}) + 20\%(\sum_{i=1}^n P_i^{max})$ (4)
Yucon Electrical (კანადა 3)	$\max(P_i^{max})+10\%(P_d^{max})$ (5)
ბელგია	UCTE წესები. (ვეროპული ქვეყნების ენერგოგაერთიანება). მინიმუმ 460 მგვტ
კალიფორნია	$50\% * \max(5\%P_{hydro} + 7\%P_{other generation}, P_{largest contingency}) + P_{non-firm import}$ (6)
საფრანგეთი	UCTE წესები. (ვეროპული ქვეყნების ენერგოგაერთიანება). მინიმუმ 500 მგვტ
PJM (southern) (აშშ) სამხრეთი	$\max(P_i^{max})$ (7)
PJM (western) (აშშ) დასავლეთი	$1.5\%(P_d^{max})$ (8)
PJM (Other) (აშშ) სხვა დანარჩენი	პიკური დატვირთვის 1.1 % + ტიპურ დღეებსა და საათებში ალბათობრივი ანგარიშები
ესპანეთი	მინიმუმ $3(P_d^{max})^{1/2}$ მაქსიმუმ $6(P_d^{max})^{1/2}$ (9)
ჰოლანდია	UCTE წესები. (ვეროპული ქვეყნების ენერგოგაერთიანება). მინიმუმ 300 მგვტ
UCTE (ვეროპული ქვეყნების ენერგოგაერთიანება)	არ არსებობს დადგენილი სტანდარტი. რეკომენდირებული მაქსიმუმია: $(10P_{d,zone}^{max}+150^2)^{1/2}-150$ (10)

სადაც, P_i^t - t პერიოდის i ელ. სადგურის გამომუშავება; P_i^{max} - t პერიოდის ყველაზე დიდი გამომუშავება (ელ. სადგური); P_d - დატვირთვა.

როგორც ცხრ. 7-ში მოყვანილი მონაცემებიდან ჩანს ელექტროენერგეტიკული სისტემების აქტიური სიმძლავრის ოპერატიული რეზერვის დაგეგმვის კრიტერიუმები ძირითადად ატარებენ დეტერმინირებულ ხასიათს და მათში არ არის გათვალისწინებული ელ. სისტემაში მიმდინარე შემთხვევითი პროცესები. არ არის ნაჩვენები ოპერატიული რეზერვის ოპტიმიზაციის პრობლემის გადაწყვეტის გზები. ელექტროენერგეტიკულ სისტემებში აქტიური სიმძლავრის ოპერატიული რეზერვის ოპტიმალური დაგეგმვა მოითხოვს პრობლემისადმი კომპლექსურ მიდგომას. ყველა იმ ფაქტორის გათვალისწინებას, რომლებიც მოქმედებენ ელ. სისტემის მუშაობის საიმედოობაზე. ელ. სისტემების ფუნქციონირების მოთხოვნილი საიმედოობის უზრუნველსაყოფად აუცილებელია სისტემაში არსებობდეს აქტიური სიმძლავრის ოპერატიული რეზერვის ისეთი მოცულობა, რომელიც ნებისმიერი ელ. გადაცემის ხაზის და ელ. სადგურის ავარიული გამორთვის შემთხვევაში მაქსიმალურად დააკმაყოფილდება მომხმარებლის ელ. ენერჯის მოთხოვნა და მინიმუმამდე დაიყვანება როგორც მწარმოებლის, აგრეთვე მომხმარებლის მოსალოდნელი ზარალი. ამ ამოცანის გადაწყვეტის ყველაზე ეფექტურ გზად მიგვაჩნია ელ. სისტემის ფუნქციონირების მიმდინარე პროცესების შეფასებაში ალბათური მეთოდის გამოყენება. ეს მეთოდი საშუალებას გვაძლევს რისკის ინდექსის საშუალებით ანალიზი ჩავუტაროთ სხვადასხვა ოპერატიული პროცესების სცენარებს [6,7,8,11].

ჩატარებული კვლევების [4,5,6,7,8,11] ანალიზი ცხადყოფს, რომ ელექტროენერგეტიკულ სისტემაში ოპერატიული რეზერვის ალბათური გზით დადგენის დროს გამოყენებულია მხოლოდ მაგენერირებელი სიმძლავრეების ავარიული გამორთვის სტატისტიკა და ელექტრული სისტემისთვის მისაღები რისკის დონე გარკვეული დროის მონაკვეთში (დღე-ღამე) მიღებულია მუდმივ სიდიდედ. აღნიშნულმა გარემოებამ შესაძლოა გამოიწვიოს ოპერატიული რეზერვის საკმარისზე მეტი ან ნაკლები სიდიდით განსაზღვრა, რაც საბოლოო ჯამში აისახება ელექტროენერგეტიკული სისტემის საიმედოობის და უსაფრთხოების დონის დაწვევის ან ეკონომიკურად გაუმართლებელი სიმძლავრის რეზერვის სიდიდის დადგენაში.

წარმოდგენილ ნაშრომში შემოთავაზებულია ოპერატიული რეზერვის სიდიდის განსაზღვრის ახალი მეთოდიკა, რაც ეფუძნება მაგენერირებელი სიმძლავრეების ავარიული გამორთვის სტატისტიკის და ელექტრო-ენერგეტიკული სისტემისთვის დროის გარკვეულ მონაკვეთში (საათი) საიმედოობის სხვადასხვა დონის მაჩვენებლებს. ჩატარებული კვლევებით დადგენილია, რომ ელექტროენერგეტიკული სისტემისთვის დროის გარკვეულ მონაკვეთში (საათი) მისაღები რისკის დონის განსაზღვრა დამოკიდებულია დატვირთვის კვანძების იმ პერიოდში არსებული დატვირთვის სიდიდეებსა და საიმედოობის დონეზე.

ელექტროენერგეტიკულ სისტემაში შესაძლო შემოთავაზების სხვადასხვა სცენარების საფუძველზე მაგენერირებელი წყაროების აქტიური სიმძლავრის მოცდენის შეფასებისათვის გამოყენებულია ზოგად ალბათურ-ვარიანტული ალგორითმი [5,6,7,10], რომელიც მოცემულია ცხრ. 2-ში.

ვინაიდან ელექტროენერგეტიკულ სისტემაში აქტიური სიმძლავრის ოპერატიული რეზერვის სიდიდის ცვალებადობა შემთხვევითი ხასიათისაა და მიმდინარეობს განუსაზღვრელობის პირობებში, ელექტროენერგეტიკული სისტემისთვის დროის გარკვეულ მონაკვეთში (საათი) მისაღები Y_t საიმედოობის დონის სწორად განსაზღვრაში ყველა სხვა ცნობილ მეთოდებთან შედარებით უპირატესობა ენიჭება არამკაფიო ლოგიკის მეთოდს [2,9,10].

კვლევებმა გვიჩვენა, რომ ელ. სისტემისათვის დროის გარკვეულ მონაკვეთში (საათი) მისაღები Y_s საიმედოობა უნდა შეფასდეს ორდონიანი არამკაფიო ლოგიკის მოდელის მეშვეობით. ამ მოდელის შემუშავებისათვის საჭიროა ისეთი X_1, X_2, \dots, X_n ფაქტორების შერჩევა რომლებიც უზრუნველყოფენ Y_s საიმედოობის დონის სრულყოფილად შეფასებას. ანალიზის საფუძველზე შერჩეულ იქნა ორი ფაქტორი: X_1 - თითოეული დატვირთვის კვანძის საათობრივი დატვირთვა და X_2 - თითოეული დატვირთვის კვანძის საიმედოობის დონე.

აქტიური სიმძლავრის მოცდენის შეფასების ზოგადი ალბათურ-ვარიანტული ალგორითმი

ცხრილი 2

სცენარი №	გენერატორი			ხელმისაწვდომი სიმძლავრე P	არახელმისაწვდომი (გამორთული) სიმძლავრე	გამორთვის ინდივიდუალური ალბათობა	სცენარის საერთო ალბათობა
	1	2	n				
1	1	1	1	$P_{1max} + P_{2max} + P_{nmax}$	0	$P_{r1} = \sum_{i=1}^n (1 - ORR_i) \quad (11)$	1
2	1	1	0	$P_{1max} + P_{2max} + P_{nmax}$	P_{1max}	$P_{r2} = ORR_3 * \sum_{i=1}^2 (1 - ORR_i) \quad (12)$	$\sum_{i=2}^8 P_{r2} \quad (15)$
3	1	0	1	$P_{1max} + P_{2max} + P_{nmax}$	P_{2max}	$P_{r3} = (1 - ORR_1) * ORR_2 * \sum_{i=1}^2 (1 - ORR_3) \quad (13)$	$\sum_{i=3}^8 P_{r3} \quad (16)$
4	0	1	1	$P_{1max} + P_{2max} + P_{nmax}$	P_{3max}	$P_{r4} = ORR_1 * \sum_{i=2}^3 (1 - ORR_i) \quad (14)$	$\sum_{i=4}^8 P_{r4} \quad (17)$
N

სადაც, P_{r1}, P_{r2}, P_{rn} - n სცენარის ინდივიდუალური ალბათობა; $\sum_{i=2}^8 P_{r2}, \sum_{i=2}^8 P_{r3}, \dots, \sum_{i=2}^8 P_{rn}$ n სცენარის ჯამური ალბათობა; ORR_i - i გენერატორის მზადყოფნის კოეფიციენტი; P - n სცენარის ხელმისაწვდომი სიმძლავრე; P_{nmax} - n გენერატორის მაქსიმალური გამომუშავება.

შენიშვნა: 1 - აღნიშნულია გენერატორის ჩართული მდგომარეობა, 0 - გენერატორის გამორთული მდგომარეობა.

პირველ დონეზე განხორციელდა თითოეული დატვირთვის კვანძის Y_1, Y_2, \dots, Y_i საიმედოობის შეფასება X_1 და X_2 ფაქტორების საფუძველზე. მეორე დონეზე მოხდა Y_1, Y_2, \dots, Y_i საიმედოობის დონეების საფუძველზე საბოლოო Y_s საიმედოობის დონის შეფასება. ექსპერტული შეფასების საფუძველზე შედგენილია X_1 და X_2 მახასიათებლების გავლენის მატრიცა Y_1, Y_2, \dots, Y_i და Y_s საიმედოობის დონეზე. შედეგები მოცემულია ცხრ. 3 და 4-ში.

პირველი დონისათვის X_1 და X_2 ფაქტორების გავლენა Y_1, Y_2, \dots, Y_i სიდიდეებზე

ცხრილი 3

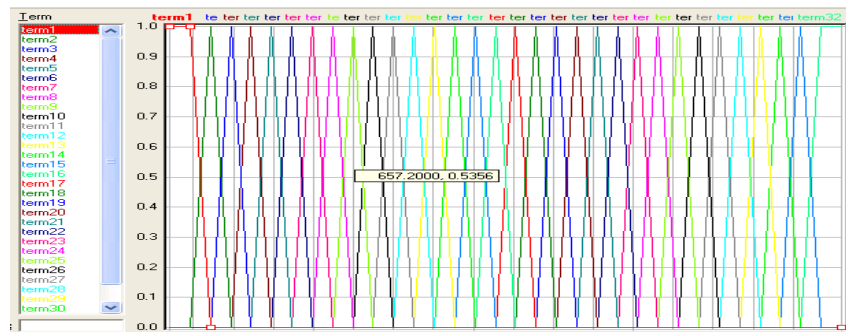
ფაქტორი	X1	X2
		ზრდა
Y_1, Y_2, \dots, Y_i	იზრდება	იზრდება

მეორე დონისათვის Y_1, Y_2, \dots, Y_i საიმედოობის მახასიათებლების გავლენა Y_s სიდიდეზე

ცხრილი 4

ფაქტორი	Y_1, Y_2, \dots, Y_i
	ზრდა
Y_s	იზრდება

i დატვირთვის კვანძისთვის $X_1, X_2, Y_1, Y_2, \dots, Y_i$ და Y_s საიმედოობის დონის მახასიათებლების არამკაფიო სიმრავლეზე დასაყვანად გამოყენებულია სამკუთხედის წვერის ფუნქცია და ყოველსაათობრივი მაჩვენებლები დაყოფილია 32 ნაწილად, რომელსაც აქვს ნახ.1 მოცემული ზოგადი სახე:



ნახ. 1. სამკუთხედის წვერის ზოგადი ფუნქცია

X_1, X_2 მახასიათებლების დამოკიდებულების Y_1, Y_2, \dots, Y_i -ზე და Y_1, Y_2, \dots, Y_i მახასიათებლების Y_s საიმედოობის დონეზე შეფასების ფუნქციური დამოკიდებულებაა:

$$Y_1, Y_2, \dots, Y_i = \psi_1(X_1, X_2), \quad (18) \quad Y_s = \psi_2(Y_1, Y_2, \dots, Y_i), \quad (19)$$

სადაც, ψ_1 და ψ_2 პროცედურაა, რომელიც შეიცავს წესების ბაზას და აკავშირებს $X_1, X_2, Y_1, Y_2, \dots, Y_i$ და Y_s მახასიათებლებს ერთმანეთთან.

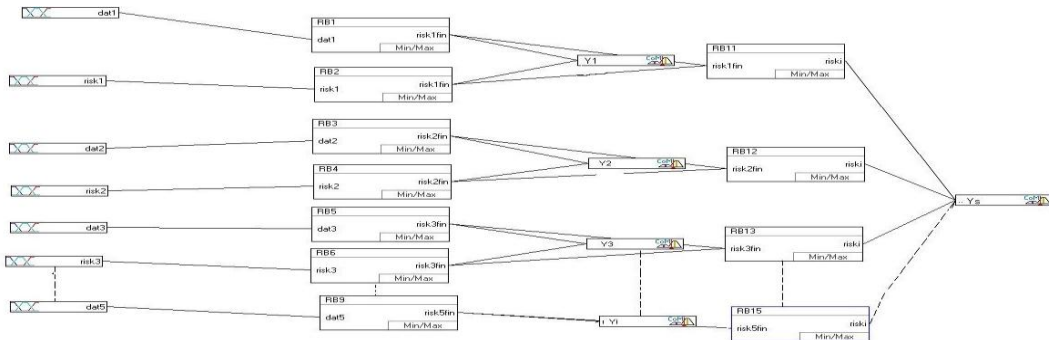
X_1 და X_2 მახასიათებლების გავლენის მატრიცის საფუძველზე i რაოდენობის დატვირთვის კვანძისათვის n რაოდენობის ჩამოყალიბებული წესების მიხედვით დგინდება ყოველ X_1 და X_2 მახასიათებლის ცვალებადობის გავლენა Y_i -ს მნიშვნელობაზე და Y_1, Y_2, \dots, Y_i -ს ცვალებადობის გავლენა Y_s მახასიათებელზე. ამ პროცესის აღწერა მოცემულია ნახ. 2-ზე:

#	IF	THEN	
	dat1	DoS	risk1fin
1	term1	1.00	term32
2	term2	1.00	term31
3	term3	1.00	term30
4	term4	1.00	term29
5	term5	1.00	term28
6	term6	1.00	term27
7	term7	1.00	term26
8	term8	1.00	term25

ნახ. 2. ჩამოყალიბებული წესების ზოგადი სტრუქტურა

სადაც, $term_i$ – $X_1, X_2, Y_1, Y_2, \dots, Y_i$ და Y_s მახასიათებლების i ინტერვალია; $DoS - i$ ინტერვალის შესაბამისი წესის წონაა.

წარმოდგენილი შემსგვლელი ინფორმაციის დამუშავებისა (ფაზიფიკაცია) და საბოლოო შედეგის (დეფაზიფიკაცია) მისაღებად სხვადასხვა დატვირთვის კვანძის გათვალისწინებით შემუშავდა არამკაფიო მოდელირების პროცესის მიმდინარეობის ინტერაქტიული ზოგადი ბლოკ-სქემა (ნახ. 3).



ნახ. 3. არამკაფიო მოდელირების ინტერაქტიული ზოგადი ბლოკ-სქემა

სადაც, dat_i - i კვანძის საათობრივი დატვირთვაა; $risk_i$ - i დატვირთვის კვანძის მოთხოვნილი საათობრივი საიმედოობის დონეა; $RB_i (dat_i)$ - i კვანძის i დატვირთვის Y_i საიმედოობის დონეზე გავლენის წესების მაჩვენებელი ბლოკია; $RB_i (risk_i)$ - i დატვირთვის კვანძის i საიმედოობის დონის Y_i საიმედოობის დონეზე გავლენის წესების მაჩვენებელი ბლოკია; Y_1, \dots, Y_i - i დატვირთვის კვანძის შეფასებული საიმედოობის დონეა; Y_s - ელექტროენერგეტიკული სისტემის ყოველსაათობრივი საიმედოობის დონეა.

საბოლოო შედეგის მიღება (დეფაზიფიკაცია) განხორციელდა მინიმალის მეთოდის გამოყენებით [2,9,10].

ჩატარებული კვლევების შედეგებიდან გამომდინარე შემუშავებულია ელექტროენერგეტიკული სისტემის ოპერატიული რეზერვის ყოველსაათობრივი სიდიდის განმსაზღვრელი ალგორითმი, რომელიც ასახულია ცხრ. 5-ში.

ელექტროენერგეტიკული სისტემის ოპერატიული რეზერვის ყოველსაათობრივი რაოდენობის განმსაზღვრელი ალგორითმი

ცხრილი 5

დასაწყისი
სცენარი № 1, 2, 3, . . . N ფორმირება
შესაბამისი არამკაფიო ლოგიკის მოდელის და ყოველსაათობრივი t საიმედოობის დონის ფორმირება
$\sum_{i=2}^8 P_{r2}, (20) \sum_{i=3}^8 P_{r3}, (21) \sum_{i=4}^8 P_{r4}, (22) \sum_{i=4}^8 P_{rn} (23)$ ჯამური ალბათობების და Y_t შედარება
$Y_t \leq \sum_{i=4}^8 P_{rn}, (24)$ მაშინ $\sum_{i=4}^8 P_{rn} (25)$ ალბათობის შესაბამისი № 1, 2, 3, . . . N სცენარის არჩევა (15)
ამორჩეული N სცენარის შესაბამისი P ხელმისაწვდომი სიმძლავრის შერჩევა
t საათისთვის მინიმალურად საჭირო ოპერატიული რეზერვი $R_t = D_t - P (26)$
არსებული რეზერვის $R_{a1}, R_{a2}, \dots, R_{an}$ ფორმირება ($R_{an} = D_t - \sum_{i=1}^n P_{\underline{e}}$) (27)
თუ $R_{an} \geq R_t, (28)$ მაშინ მაშინ სისტემას არ ესაჭიროება დამატებით ოპერატიული რეზერვი ოპტიმალური ოპერატიული რეზერვი: $R_o = R_{an}; (29)$
თუ $R_{an} < R_t, (30)$ მაშინ მაშინ სისტემას ესაჭიროება დამატებით $R_f = R_t - R_{an} (30)$ ოპერატიული რეზერვი; ოპტიმალური ოპერატიული რეზერვი: $R_o = R_{an} + R_t^1 (31)$
პროპორციის მეთოდის გამოყენებით [1] R_o ოპტიმალური ოპერატიული რეზერვის განაწილება პარალელურად მომუშავე მაგენერირებელ წყაროებზე
დასასრული

პარალელურად მომუშავე მაგენერირებელი წყაროების მიერ ელექტროენერჯის წარმოების და შესაბამისი ოპერატიული რეზერვის ელექტროგადაცემის ხაზებში ოპტიმალური განაწილების მიზნით ნიუტონ-რაფსონის მეთოდის გამოყენებით ყოველსაათობრივად განხორციელებულია ელექტროენერგეტიკულ სისტემაში სიმძლავრეთა განაწილების სიმულაცია ნორმალური და ავარიული რეჟიმების დროს [1,12]. ელექტროენერგეტიკულ სისტემაში არსებული ელექტროგადაცემის ხაზებში დროის გარკვეულ მონაკვეთში გამტარუნარიანობის არსებობის შემთხვევისთვის შემუშავდა ოპტიმიზაციის ზოგადი ფუნქცია შეზღუდვებით [1], რომელიც ახდენს რეზერვის და სიმძლავრეთა ისეთ გადანაწილებას სისტემაში, რომ ნორმალური და ავარიული რეჟიმების დროს არსებული გადატვირთული ელექტროგადაცემის ხაზი ან ხაზები განიტვირთება. მიზნის ფუნქციას შეზღუდვებით აქვს შემდეგი ზოგადი სახე:

$$X \Rightarrow \min \text{ მიზნის ფუნქცია} \tag{32}$$

შეზღუდვები:

$$D_i = \frac{\sum_{i=1}^n (B_i * C_i)}{\sum_{i=1}^n C_i}; \tag{33} F_i = \frac{A_i * B_i * C_i}{D_i * \sum_{i=1}^n C_i}; \tag{34}$$

$$G_i = C_i - F_i; \tag{35} H_i = -B_i * C_i * \frac{J}{50} I_i = G_i + H_i; \tag{36} J = \frac{-G_{igam} * 50}{K_d * \sum_{i=1}^n G_i + M * \rho * (E - \sum_{i=1}^n C_i)}; \tag{37}$$

$$\rho = \frac{\sum_{i=1}^n (C_i - C_{igam})}{\sum_{i=1}^n C_i}; \tag{38} A_1 = A_2 = \dots = A_i; \tag{39} D_i = \sum_{i=1}^n G_i; \tag{40} G_1: G_2: \dots: G_i \leq C_1: C_2: \dots: C_i; \tag{41}$$

$$I_1: I_2: \dots: I_i \leq C_1: C_2: \dots: C_i \tag{42} \sum_{i=1}^n F_i = R_{0i} \tag{43} X = I_i \tag{44} \text{ or } I_1 + I_2 + \dots + I_i \tag{45}$$

სადაც

D_i - ელექტროენერგეტიკული სისტემის სტატიკური მახასიათებლის დახრილობის კოეფიციენტი;

B_i - i გენერატორის სტატიკური მახასიათებლის დახრილობის კოეფიციენტი,

C_i - i გენერატორის ნომინალური (მაქსიმალური) სიმძლავრე;

F_i - i გენერატორზე პროპორციით განაწილებული რეზერვის სიდიდე;

A_i - პარალელურად მომუშავე გენერატორებზე განსაზღვრული რეზერვის საერთო რაოდენობა;

G_i - i გენერატორის წარმოება ნომინალური რეჟიმის დროს;

H_i - i გენერატორის მიერ დამატებით განვითარებული სიმძლავრე ავარიული რეჟიმის პირობებში, რომელიმე G_{igam} გენერატორის ავარიული გამორთვის დროს;

J - G_{igam} გენერატორის ავარიული გამორთვის შემთხვევაში სისტემის სიხშირის გადახრა;

I_i - ავარიული რეჟიმის პირობებში i გენერატორის ჯამური წარმოება G_i გენერატორის ავარიული გამორთვის დროს;

G_{igam} - G_{igam} გენერატორის გამორთვამდე მისი ფაქტიური გამომუშავება;

K_d - დატვირთვის სტატიკური მახასიათებლის დახრილობის კოეფიციენტი;

M - სტატიკური მახასიათებლის დახრილობის კოეფიციენტი G_{igam} გენერატორის ავარიული გამორთვის შემთხვევაში;

ρ – სიმძლავრის რეზერვის კოეფიციენტი;

C_{igam} – ავარიულად გამორთული გენერატორის ნომინალური (მაქსიმალური) სიმძლავრე;

X – გადატვირთული ელექტროგადაცემის ხაზის მკვებავი კვანძის გამომუშავება.

$R_{0i} - i$ სთ-ის დროს ოპტიმალური ოპერატიული რეზერვის სიდიდე;

$D_i - i$ სთ-ის დროს დატვირთვის კვანძების მოხმარება; $i = 1, \dots, n$;

1) *შენიშვნა:* დამატებით საჭირო ოპერატიული რეზერვი განაწილებულია მაგენერებელ წყაროებზე, ხოლო მოხმარების დაფარვის დეფიციტი ალგორითმში გათვალისწინებულია როგორც იმპორტი.

მიღებული ოპტიმიზაციის ზოგადი ფუნქციის საფუძველზე შემუშავებულია სიმულაციის შედეგად ელექტროენერგეტიკულ სისტემაში არსებული ელექტროგადაცემის ხაზებში დროის გარკვეულ მონაკვეთში გამტარუნარიანობის არსებობის შემთხვევის მაკორექტირებელი ზოგადი ალგორითმი, რომელიც ასახულია ცხრ. 6-ში.

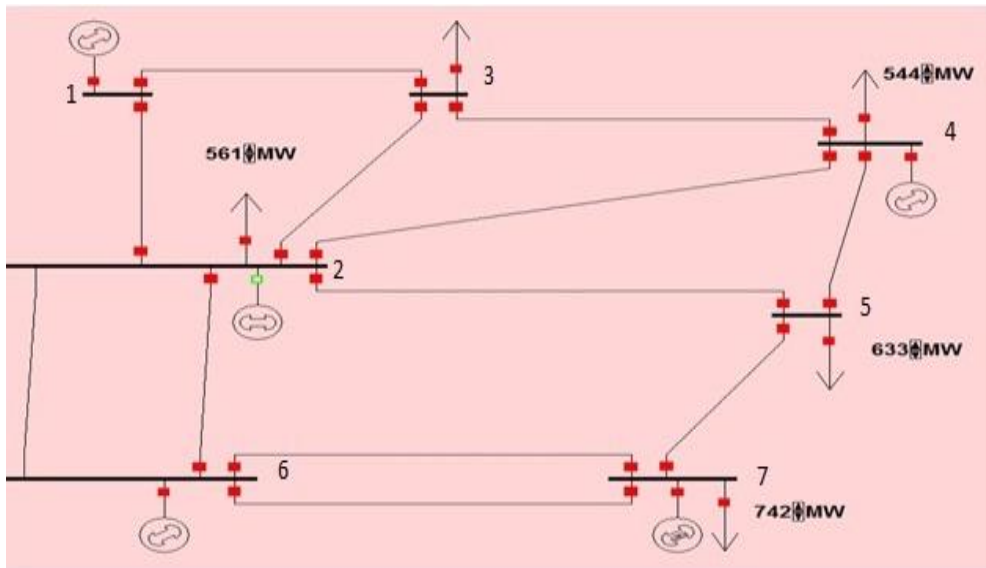
მაკორექტირებელი ალგორითმი

ცხრილი 6

დასაწყისი
პარალელურად მომუშავე მაგენერებელი წყაროების t სთ-ის წარმოების და პროპორციის მეთოდის გამოყენებით მათზე გადანაწილებული R_i ოპერატიული რეზერვის სიდიდის მიხედვით ნორმალური და ავარიული რეჟიმის პირობებში ელექტროგადაცემის ხაზებში სიმძლავრეთა განაწილების სიმულაცია
სიმულაციის შედეგად მიღებული ელექტროგადაცემის ხაზების ფაქტიური ტვირთის შედარება დასაშვებ გამტარუნარიანობასთან ნორმალურ და ავარიულ რეჟიმების დროს: თუ $P_{line.facti} \leq P_{line.peri}$ (46) მაშინ i ხაზი არ არის გადატვირთული, მაშინ გადადი 7 ეტაპზე თუ $P_{line.facti} > P_{line.peri}$ (47) მაშინ i ხაზი გადატვირთულია და გადადი შემდეგ - 3 ეტაპზე
$i=1, \dots, n$ გადატვირთული ხაზების ფორმირება
მაკორექტირებელი ოპტიმიზაციის ფუნქციის მეშვეობით პარალელურად მომუშავე მაგენერებელი წყაროების t სთ-ის წარმოების და პროპორციის მეთოდის გამოყენებით მათზე გადანაწილებული R_i ოპერატიული რეზერვის ახალი სიდიდის განსაზღვრა ნორმალური და ავარიული რეჟიმის პირობებში ელექტროგადაცემის ხაზებში სიმძლავრეთა განაწილების სიმულაცია
დასასრული

ელექტროენერგეტიკული სისტემის აქტიური სიმძლავრის ყოველსაათობრივი ოპერატიული რეზერვის ოპტიმალური დაგეგმვის მეთოდის პრაქტიკაში აპრობაციის მიზნით მაგალითისათვის განხილულია ელექტროენერგეტიკული სისტემა. ცხრ. 7, 8 და 9-ში და ნახ. 4-ში მოცემულია სისტემის მახასიათებლები. სისტემაში არსებული ძაბვა 220 კვ-ია. გამარტივების მიზნით რეაქტიული ტვირთები და კარგები ეგზ-ებში მიღებულია 0-ის ტოლად.

ცხრ. 7 და 8-ის მონაცემების მიხედვით მიღებულია ელექტროენერგეტიკული სისტემის მაგენერებელი წყაროების აქტიური სიმძლავრის მოცდენის ალბათობრივ-ვარიანტული ცხრ. 10.



ნახ. 4. ელექტროენერგეტიკული სისტემის ცალხაზოვანი სქემა 2)

ელექტროენერგეტიკული სისტემის ელექტროგადაცემის ხაზების გამტარუნარიანობა

ცხრილი 7

ეგხ №	კვანძიდან	კვანძამდე	დასაშვები გამტარუნარიანობა, მგვტ
1	1	2	1000
2	1	3	1000
3	2	3	1000
4	2	4	1000
5	2	5	1000
6	2	6	750
7	2	6	750
8	3	4	1000
9	4	5	1000
10	5	7	1000
11	6	7	1000
12	6	7	1000

2) შენიშვნა: გამარტივების მიზნით რამდენიმე გენერატორი ნახაზზე წარმოდგენილია ერთ გენერატორად

ელექტროენერგეტიკული სისტემის გენერატორების ტექნიკური მონაცემები

ცხრილი 8

მანსიათებელი	გ-1	გ-2	გ-3	გ-4	გ-5	გ-6	გ-7	გ-8	გ-9	გ-10	გ-11	გ-12	გ-13	გ-14	გ-15	გ-16	გ-17	გ-18	გ-19	გ-20	გ-21	გ-22	გ-23	გ-24	გ-25	გ-26	გ-27	გ-28	გ-29	გ-30	ჯამი
მაქს. წარმოება	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	50	50	100	100	100	100	100	100	100	200	200	250	250	300	300	300	350	420	420	4120
მინ. წამოება	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ავარიული გამორთვის ალბათობა	0.01	0.02	0.03	0.02	0.04	0.01	0.01	0.01	0.02	0.01	0.02	0.01	0.01	0.02	0.01	0.03	0.01	0.02	0.02	0.01	0.02	0.03	0.01	0.01	0.04	0.01	0.02	0.03	0.01	0.01	-
სტატიკური მანსიათებლის დახრილობის კოეფიციენტი	15	15	20	25	30	15	15	15	20	20	15	25	15	30	15	25	15	20	25	30	30	15	15	20	30	25	20	30	25	30	-

ელექტროენერგეტიკული სისტემის რატვირთვის კვანძების საათობრივი ტექნიკური მონაცემები

ცხრილი 9

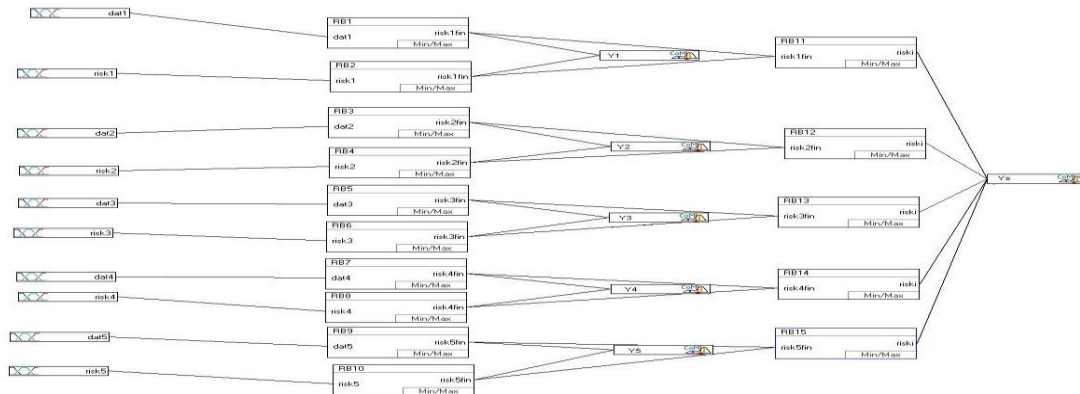
დატვირთვალი ტიპის კვანძი	სთ-1	სთ-2	სთ-3	სთ-4	სთ-5	სთ-6	სთ-7	სთ-8	სთ-9	სთ-10	სთ-11	სთ-12	სთ-13	სთ-14	სთ-15	სთ-16	სთ-17	სთ-18	სთ-19	სთ-20	სთ-21	სთ-22	სთ-23	სთ-24	საიმედოობის დონე (ალბათობა)
№1	720	685.4	639.2	691.4	720.2	686.2	597	691	880.6	635.4	632.6	676.8	780.2	788.2	730.6	904.2	794	831.6	574.2	840.6	863	744.6	722	568	0.01
№2	544	683.4	702.2	584.4	665.2	716.2	668	674	629.6	661.4	724.6	675.8	796.2	637.2	895.6	735.2	721	630.6	612.2	784.6	897	759.6	672	802	0.02
№3	561	840.4	582.2	758.4	832.2	540.2	626	692	857.6	812.4	863.6	717.8	763.2	823.2	651.6	674.2	767	698.6	818.2	875.6	762	719.6	878	646	0.03
№4	633	649.4	561.2	652.4	713.2	679.2	790	723	678.6	806.4	770.6	785.8	658.2	742.2	644.6	886.2	645	891.6	847.2	658.6	712	638.6	797	649	0.01
№5	742	741.4	715.2	713.4	769.2	778.2	519	900	873.6	864.4	848.6	683.8	802.2	569.2	857.6	700.2	673	787.6	788.2	720.6	766	637.6	651	755	0.01
ჯამი, მგებ	3200	3600	3200	3400	3700	3400	3200	3680	3920	3780	3840	3540	3800	3560	3780	3900	3600	3840	3640	3880	4000	3500	3720	3420	$K_d = 2$

ელექტროენერგეტიკული სისტემის აქტიური სიმძლავრის მოცდენის ალბათობრივ-ვარიანტული ცხრილი

ცხრილი 10

გამორთული გენერატორი	გ-1	გ-2	გ-3	გ-4	გ-5	გ-6	გ-7	გ-8	გ-9	გ-10	გ-11	გ-12	გ-13	გ-14	გ-15	გ-16	გ-17	გ-18	გ-19	გ-20	გ-21	გ-22	გ-23	გ-24	გ-25	გ-26	გ-27	გ-28	გ-29	გ-30	ყველა ჩართულია
ინდივიდუალური ალბათობა	0.007	0.007	0.007	0.007	0.007	0.007	0.007	0.007	0.007	0.007	0.007	0.007	0.007	0.007	0.007	0.007	0.007	0.007	0.007	0.007	0.007	0.007	0.007	0.007	0.007	0.007	0.007	0.007	0.007	0.007	0.740
ჯამური ალბათობა	0.224	0.217	0.209	0.202	0.194	0.187	0.179	0.172	0.164	0.157	0.149	0.142	0.134	0.127	0.120	0.112	0.105	0.097	0.090	0.082	0.075	0.067	0.060	0.052	0.045	0.037	0.030	0.022	0.015	0.007	0.964
სელმისაწვდომი სიმძლავრე	4090	4090	4090	4090	4090	4090	4090	4090	4090	4090	4070	4070	4020	4020	4020	4020	4020	4020	4020	3920	3920	3870	3870	3820	3820	3820	3770	3700	3700	4120	

ცხრ. 9-ის მონაცემების მიხედვით სისტემაში არსებული 5 დატვირთვის კვანძისათვის ზემოთ მოყვანილი მეთოდოლოგიის საფუძველზე შემუშავებულია არამკაფიო ლოგიკის მოდელი, რომელიც ასახულია ნახ. 5-ზე.



ნახ. 5. ყოველსაათობრივი საიმედოობის დონის შეფასების არამკაფიო ლოგიკის ორდონიანი მოდელი

პროგრამული პაკეტის Fuzzytech-ის ბაზაზე შესრულებული გაანგარიშებით დადგენილია ელექტროენერგეტიკული სისტემის ყოველსაათობრივად თითოეული დატვირთვის კვანძის საიმედოობის Y_1, Y_2, Y_3, Y_4, Y_5 და მთლიანად სისტემისთვის საჭირო Y_s საიმედოობის დონეები. ანალიზის შედეგები მოცემულია ცხრ. 11-ში.

ელექტროენერგეტიკული სისტემის ყოველსაათობრივად საჭირო საიმედოობის (მისაღები რისკის) დონე

ცხრილი 11

საათი	0-1	1-2	2-3	3-4	4-5	5-6	6-7	7-8
Y_1	0.0156	0.0167	0.018	0.0165	0.0156	0.0166	0.0193	0.0165
Y_2	0.0248	0.0211	0.0205	0.0239	0.0216	0.0201	0.0215	0.0213
Y_3	0.0292	0.021	0.0286	0.0234	0.0212	0.0297	0.0273	0.0254
Y_4	0.018	0.0175	0.02	0.0174	0.0156	0.0166	0.0132	0.0153
Y_5	0.0143	0.0143	0.015	0.015	0.0136	0.0133	0.02	0.0103
Y_s	0.022	0.02	0.0222	0.0216	0.0191	0.02	0.0218	0.0207
საათი	8-9	9-10	10-11	11-12	12-13	13-14	14-15	15-16
Y_1	0.0109	0.0181	0.0182	0.0169	0.0138	0.0136	0.0153	0.0103
Y_2	0.0226	0.0217	0.0199	0.0213	0.0179	0.0224	0.0152	0.0196
Y_3	0.0205	0.0218	0.0202	0.0246	0.0232	0.0215	0.0266	0.0259
Y_4	0.0166	0.0127	0.0138	0.0134	0.0172	0.0147	0.0176	0.0103
Y_5	0.0108	0.0111	0.0115	0.0158	0.0127	0.0188	0.0113	0.0154
Y_s	0.0195	0.0188	0.0189	0.0205	0.0189	0.0202	0.0201	0.0203
საათი	16-17	17-18	18-19	19-20	20-21	21-22	21-22	22-23
Y_1	0.0134	0.0123	0.02	0.012	0.0114	0.0149	0.0156	0.02
Y_2	0.02	0.0255	0.0231	0.0182	0.0152	0.0189	0.0214	0.0177
Y_3	0.0231	0.0252	0.0216	0.02	0.0233	0.0245	0.02	0.0267
Y_4	0.0176	0.0103	0.0115	0.0172	0.0156	0.0178	0.013	0.0175
Y_5	0.0161	0.0131	0.0131	0.0149	0.0137	0.017	0.0167	0.014
Y_s	0.0205	0.0194	0.0184	0.019	0.0183	0.0209	0.0202	0.0202

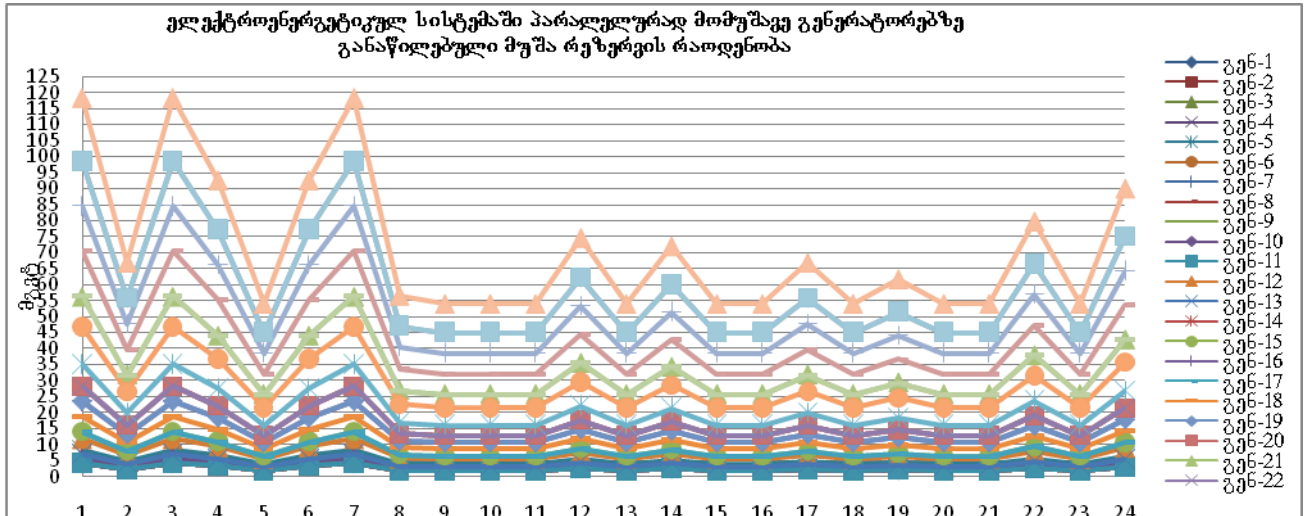
ცხრ. 8, 9 და 10 ასახული მონაცემებით და ცხრ. 5-ში მოცემული ალგორითმით განსაზღვრულია ელექტროენერგეტიკულ სისტემაში ყოველსაათობრივი ოპერატიული რეზერვის ოპტიმალური სიდიდე და შედეგები შეტანილია ცხრ. 12-ში.

ელექტროენერგეტიკულ სისტემაში ყოველსაათობრივი ოპერატიული რეზერვის ოპტიმალური სიდიდე

ცხრილი 12

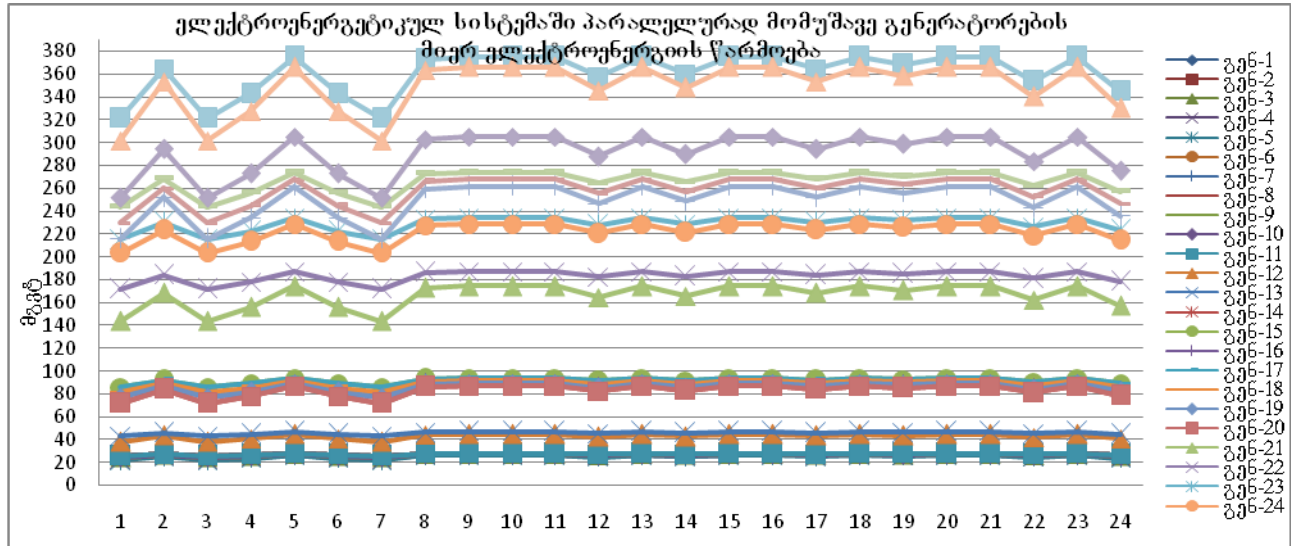
საათი	0-1	1-2	2-3	3-4	4-5	5-6	6-7	7-8
არსებული ოპერატიული რეზერვი	920	520	920	720	420	720	920	440
დამატებით საჭირო ოპერატიული რეზერვი	0	0	0	0	0	0	0	0
სულ ოპერატიული რეზერვი	920	520	920	720	420	720	920	440
% დატვირთვისთან	28.75	14.44	28.75	21.17	11.35	21.17	28.75	11.95
საათი	8-9	9-10	10-11	11-12	12-13	13-14	14-15	15-16
არსებული ოპერატიული რეზერვი	200	340	280	580	320	560	340	220
დამატებით საჭირო ოპერატიული რეზერვი	220	80	140	0	100	0	80	200
სულ ოპერატიული რეზერვი	420	420	420	580	420	560	420	420
% დატვირთვისთან	10.71	11.11	10.93	16.38	11.05	15.73	11.11	10.76
საათი	16-17	17-18	18-19	19-20	20-21	21-22	21-22	22-23
არსებული ოპერატიული რეზერვი	520	280	480	240	120	620	400	700
დამატებით საჭირო ოპერატიული რეზერვი	0	140	0	180	300	0	20	0
სულ ოპერატიული რეზერვი	520	420	480	420	420	620	420	700
% დატვირთვისთან	14.44	10.93	13.18	10.82	10.5	17.714	11.29	20.46

ელექტროენერგეტიკულ სისტემაში პარალელურად მომუშავე გენერატორებზე ყოველსაათობრივი ოპერატიული რეზერვის ოპტიმალური განაწილებისათვის გამოყენებულია პროპორციის მეთოდი [1]. შედეგები მოცემულია გრაფიკ 1-ზე.



გრაფიკი 1. ელექტროენერგეტიკულ სისტემაში პარალელურად მომუშავე გენერატორებზე განაწილებული ოპერატიული რეზერვის სიდიდე

ცხრ. 5-სა და გრაფიკ 1-ზე მოცემული მონაცემებიდან გამომდინარე ელექტროენერგეტიკულ სისტემაში პარალელურად მომუშავე გენერატორების მიერ ელექტროენერჯის წარმოებას აქვს გრაფიკ 2-ზე ასახული სახე:



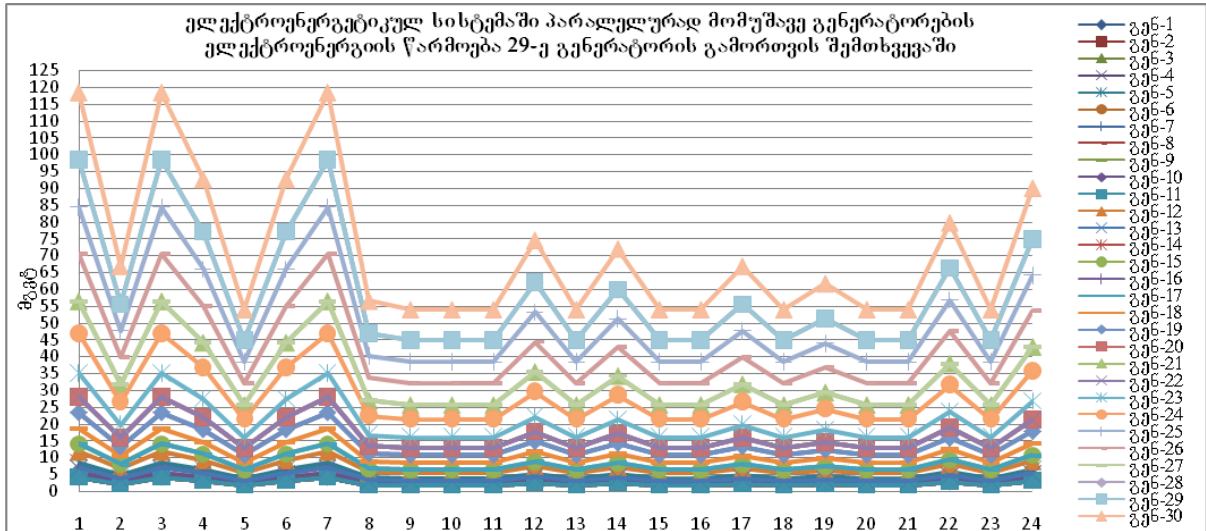
გრაფიკი 2. ელექტროენერგეტიკულ სისტემაში პარალელურად მომუშავე გენერატორების მიერ ელექტროენერჯის წარმოება

29-ე გენერატორის გამორთვის სიმულაციის შედეგები

ცხრილი 13

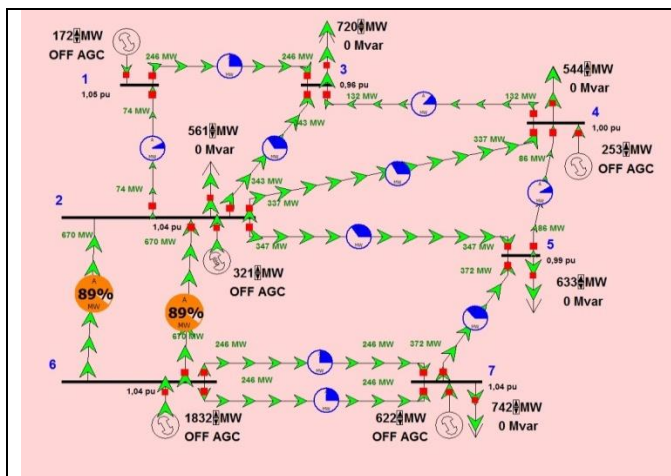
საათი	0-1	1-2	2-3	3-4	4-5	5-6	6-7	7-8
სისტემაში დარჩენილი ოპერატიული რეზერვი, მგვტ	620.44	183.43	620.44	401.86	74.23	401.86	620.44	96.04
სისწირის გადახრა	-0.171	-0.192	-0.171	-0.182	-0.198	-0.182	-0.171	-0.197
ჯამური დატვირთვის შემცირება, მგვტ	-22	-28	-22	-25	-29	-25	-22	-29
ჯამური დატვირთვის შემცირება, %	0,68	0,77	0,68	0,73	0,78	0,73	0,68	0,78
საათი	8-9	9-10	10-11	11-12	12-13	13-14	14-15	15-16
სისტემაში დარჩენილი ოპერატიული რეზერვი, მგვტ	75.83	74.81	75.25	248.94	74.96	227.10	74.81	75.68
სისწირის გადახრა	-0.197	-0.197	-0.197	-0.189	-0.197	-0.190	-0.197	-0.197
ჯამური დატვირთვის შემცირება, მგვტ	-31	-30	-30	-27	-30	-27	-30	-31
ჯამური დატვირთვის შემცირება, %	0,79	0,79	0,78	0,76	0,78	0,75	0,79	0,79
საათი	16-17	17-18	18-19	19-20	20-21	21-22	21-22	22-23
სისტემაში დარჩენილი ოპერატიული რეზერვი, მგვტ	183.44	75.25	139.70	75.54	76.40	292.64	74.38	380.02
სისწირის გადახრა	-0.192	-0.197	-0.194	-0.197	-0.196	-0.187	-0.197	-0.183
ჯამური დატვირთვის შემცირება, მგვტ	-28	-30	-28	-31	-31	-26	-29	-25
ჯამური დატვირთვის შემცირება, %	0,77	0,78	0,76	0,79	0,77	0,74	0,77	0,73

ზემოაღნიშნული მეთოდოლოგიის შესაბამისად მიღებული ოპერატიული რეჟერვის ოპტიმალურობის დასადგენად ყოველსაათობრივად განხორციელებულია სისტემაში არსებული ყველაზე დიდი სიმძლავრის 29-ე გენერატორის აგარიული გამორთვის სიმულაცია და შედეგები შეტანილია ცხრ. 13-სა და გამოსახულია გრაფიკი 3-ით.

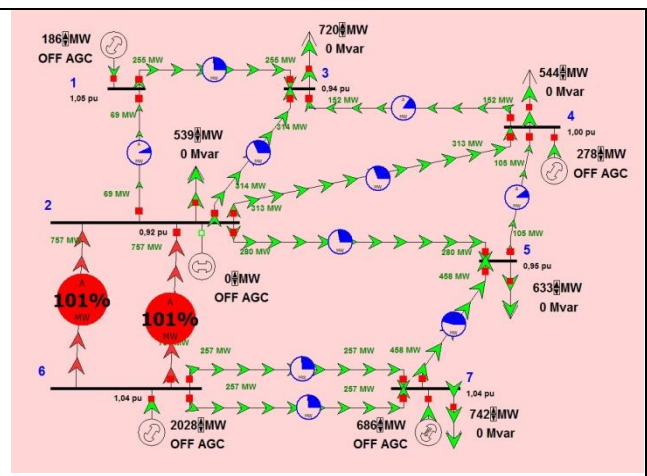


გრაფიკი 3. ელექტროენერგეტიკულ სისტემაში პარალელურად მომუშავე გენერატორების ელექტროენერგის ყოველსაათობრივი წარმოება 29-ე გენერატორის გამორთვის შემთხვევაში

ელექტროგადაცემის საზების განტარუნარიანობის შესამოწმებლად 24 სთ-თვის განხორციელებულია სისტემაში სიმძლავრეთა განაწილების სიმულაცია პროგრამა PowerWorld-ის გამოყენებით [12]. 1 სთ-თვის მიღებულ შედეგებს აქვთ შემდეგი სახე:



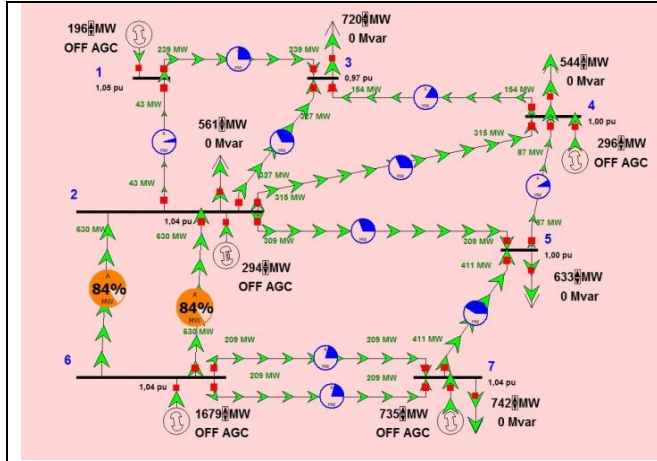
სქემა 1. ელექტროენერგეტიკულ სისტემაში სიმძლავრეთა განაწილება ნორმალურ რეჟიმში



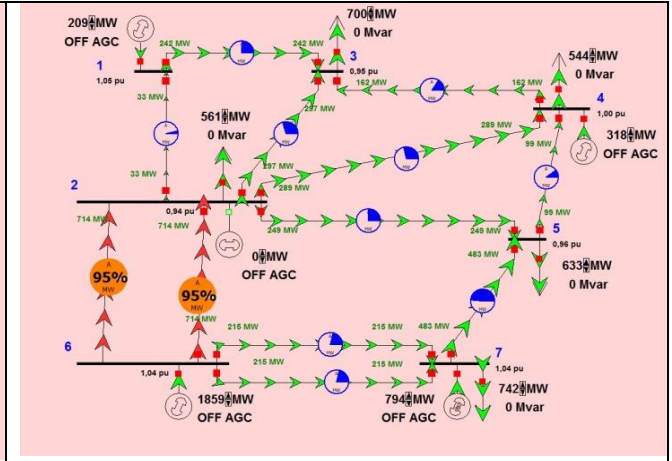
სქემა 2. ელექტროენერგეტიკულ სისტემაში აგარიულ რეჟიმში 29-ე გენერატორის გამორთვის დროს

როგორც გრაფიკი 2-დან ჩანს 29-ე გენერატორის ავარიული გამორთვის შემთხვევაში 6-2 კვანძებს შორის ორი ელექტროგადაცემის ხაზი გადაიტვირთება.

ცხრ. 5-ში მოცემული მაკორექტირებელი ალგორითმის საფუძველზე განხორციელებული ანგარიშების შედეგებს აქვთ ნახ.№6 და ნახ. 7-ზე მოცემული სახე.



ნახ. 3. ელექტროენერგეტიკულ სისტემაში სიმძლავრეთა განაწილების კორექტირებული სიდიდეები ნორმალურ რეჟიმში



ნახ. 4. ელექტროენერგეტიკულ სისტემაში სიმძლავრეთა განაწილების კორექტირებული სიდიდეები ავარიულ რეჟიმში 29-ე გენერატორის სიდიდეები ავარიულ რეჟიმში 29-ე

როგორც გრაფიკიდან 3 და 4 ჩანს, არც ნორმალურ და არც ავარიულ რეჟიმში ელექტროენერგეტიკული სისტემის არცერთი გენერატორი და ელექტროგადაცემის ხაზი არ არის გადატვირთული. სიმულაციის შედეგები 1 სთ-ისთვის მოცემულია ცხრ. 14-ში.

ცხრილი 14

დასახელება		საწყისი	კორექტირებული
სისტემაში დარჩენილი ოპერატიული რეზერვი, მგვტ		620.44	518,62
სისშირის გადახრა		-0.171	-0,1556
სისტემაში ძაბვების დონეები	მინიმალური	211,2	213,4
	მაქსიმალური	202,4	206,8
	მინიმალური	231	231
	მაქსიმალური	231	231
ჯამური დატვირთვის შემცირება, მგვტ		-22	-19,9168

დასკვნა

ჩატარებული კვლევების შედეგად ჩამოყალიბებულია ელექტროენერგეტიკული სისტემის აქტიური სიმძლავრის ოპერატიული რეზერვის ოპტიმალური დაგეგმვის მეთოდოლოგია, რომელიც ატარებს უნივერსალურ ხასიათს. ელექტროენერგეტიკულ სისტემას ეს მეთოდოლოგია საშუალებას აძლევს მაგენერირებელი მოწყობილობების პარამეტრების, დატვირთვის კვანძების საიმედოობის მახასიათებლების, ელ. გადაცემის ხაზების გამტარუნარიანობის და ელექტროენერგიაზე ყოველ-საათობრივი მოთხოვნის პარამეტრების შესაბამისად ოპტიმალურად დაგეგმოს ოპერატიული რეზერვის ყოველსაათობრივი სიდიდე.

ლიტერატურა

1. მახარაძე გ. ენერგოსისტემების რეჟიმების მართვა და ოპტიმიზაცია. გამომცემლობა “ტექნიკური უნივერსიტეტი”. გვ: 86-89. 2005 წ.
2. ჯაფარიძე დ., გაჩეჩილაძე ზ., მაღრაძე თ.. საშუალოვადიან პერიოდში საქართველოს ელექტროენერგეტიკული უსაფრთხოების უზრუნველსაყოფად ოპტიმალური საინვესტიციო პორტფელის შერჩევა//ენერგია. №3(59). 2011. გვ:11-19.
<http://www.energyonline.ge/energyonline/issue5/ge/ax-Japaridze.pdf>
3. საქართველოს ენერგეტიკის მინისტრის ბრძანება №77 ელექტროენერჯის (სიმძლავრის) ბაზრის წესების დამტკიცების შესახებ.2006 წლის 30 აგვისტო ქ. თბილისი.
4. Бабкин Д.В., Шульженко С.В. Планирование режимов субъектов ОЭС в современных условиях // Энергетика: управление, качество и эффективность использования энергоресурсов: Тез. докл. III Всерос. науч. техн. конф. - Благовещенск, 2003. — С. 81-86. Летун В.М., Глаз И.С. Некоторые проблемы оптимального управления режимом работы энергосистемы в условиях оптового рынка. //Энергетик, 2002, № 1.
5. K. KILK*, M. VALDMA. DETERMINATION OF OPTIMAL OPERATING RESERVES IN POWER SYSTEMS. Oil Shale, 2009, Vol. 26, No. 3 Special, pp. 220–227. 2009 Estonian Academy Publishers. http://www.kirj.ee/public/oilshale_pdf/2009/issue_3s/oil-2009-3S-220-227.pdf
6. Amir Motamedi . Mahmud Fotuhi-Firuzabad . RESTRUCTURED POWER SYSTEMS USING A HYBRID DETERMINISTIC/PROBABILISTIC APPROACH . 5th International Conference on Electrical and Electronics Engineering, 5-9 December 2007, Bursa Turkey, ELECO2007. http://www.emo.org.tr/ekler/d43ce3fc206f289_ek.pdf
7. Mohammad Taghi Ameli , Saeid Moslehpour , Mahdavihah Golnadsadat. Determining the Spinning Reserve In Power Systems By Corrected Recursive PJM Method. International Conference on Engineering & Technology. 2009 Year. http://www.ijme.us/cd_08/PDF/64-%20ENT%20205.pdf
8. K. AFSHAR, M. EHSAN**, M. FOTUHI-FIRUZABAD, A. AHMADI-KHATIR AND N. BIGDELI . A NEW APPROACH FOR RESERVE MARKET CLEARING AND COST ALLOCATING IN A POOL MODEL. Iranian Journal of Science & Technology, Transaction B, Engineering, Vol. 31, No. B6, pp 593-602. Printed in The Islamic Republic of Iran, 2007.
9. Young Fang. Fuzzy portfolio optimization. Springer, Berlin. 2008 Year.
10. Cornelius T. Leondes. Fuzzy logic and expert system applications. Academic press. Los angeles. 1998 Year.
11. Miguel Angel Ortega Vazquez. Optimizing spinning reserve requerments. University of Manchester. School of electrical and electronic engineering. Degree of philosophy. 2006 May. http://www.eee.manchester.ac.uk/research/groups/eeps/publications/reports/theses/aoe/ortega-vazquez_PhD_2006.pdf
12. <http://www.powerworld.com>.