

UDC 621.311

SCOPUS CODE 2102

<https://doi.org/10.36073/1512-0996-2026-3-113-124>

საქართველოს ენერგოსისტემისთვის სიხშირის აღდგენის რეზერვების ანგარიშის მეთოდოლოგიის დადგენა

დავით ტყეშელაშვილი	საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის ენერგეტიკის ფაკულტეტის დოქტორანტი, საქართველო E-mail: davit.tkeshelashvili2000@gmail.com
არჩილ კობტაშვილი	საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის ენერგეტიკის ფაკულტეტის პროფესორი, საქართველო E-mail: archilkokhtashvili@gmail.com
ირაკლი გორდიაშვილი	საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის ენერგეტიკის ფაკულტეტის ასოცირებული პროფესორი, საქართველო E-mail: irakli.gordiashvili@gse.com.ge
ივანე მჭედლიშვილი	საქართველოს სახელმწიფო ელექტროსისტემის ელექტრული რეჟიმების დეპარტამენტის უფროსი ინჟინერი, საქართველო E-mail: ivane.mtchedlishvili@gse.com.ge
ირაკლი ვახტანგაძე	საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის ენერგეტიკის ფაკულტეტის ასოცირებული პროფესორი, საქართველო E-mail: ivane.mtchedlishvili@gse.com.ge

რეცენზენტები:

თ. ჯიქია, საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის ენერგეტიკის ფაკულტეტის ასოცირებული პროფესორი

E-mail: tamar.jikia@gse.com.ge

დ. ჯაფარიძე კავკასიის უნივერსიტეტის ტექნოლოგიის სკოლის ასოცირებული პროფესორი

E-mail: djapharidze@cu.edu.ge

ანოტაცია. ევროპის ენერგეტიკულ გაერთიანებასთან ჰარმონიზაციის ფარგლებში, საქართველოს ელექტროენერგეტიკული სისტემისთვის დადგინდა სიხშირის აღდგენის რეზერვების გაანგარიშების

მეთოდოლოგია. იგი ითვალისწინებს საქართველოს ელექტრული ქსელის თავისებურებებს და ძირითად გამოწვევებს, ასევე ქვეყანაში ენერგიის ცვალებადი განახლებადი წყაროების უსაფრთხოდ ინტეგრირების პირობებს. სიხშირის აღდგენის რე-

ზერვის კლასიფიკაცია და დანიშნულება დაფუძნებულია ევროპის ენერგეტიკული გაერთიანების გამოცდილებაზე და მოდიფიცირებულია, რათა მთავრობის საქართველოს ელექტროენერგეტიკული სისტემის მცირე ზომას, გენერაციის მოქნილობასა და ქსელის კონფიგურაციას. სიხშირის აღდგენის რეზერვები, ამ მეთოდოლოგიით გამოთვლილი ყოველკვირეული მნიშვნელობებით, შესყიდული იქნება გადამცემი ქსელის ოპერატორის მიერ გამართულ ელექტროენერგეტიკულ საბალანსო ბაზარზე, როგორც დამხმარე მომსახურება. მეთოდოლოგიის დანიშნულებაა დაადგინოს საქართველოს ელექტროენერგეტიკულ სისტემაში ყველაზე მძიმე მოსალოდნელი ავარიის დროს სიხშირის აღდგენისთვის საჭირო სიმძლავრე, რათა უზრუნველყოფილ იქნეს სისტემის საიმედო მუშაობა.

საკვანძო სიტყვები: გენერაციის ადეკვატურობა; მიწოდების უსაფრთხოება; მოქნილობა; საბალანსო რეზერვები; სიხშირის აღდგენა.

შესავალი

საქართველოს ელექტროენერგეტიკული სისტემა მცირე ზომისაა და ჰიდრორესურსებზეა დამოკიდებულია. ქვეყნის დადგმული სიმძლავრის 74% ჰესებს უკავია; გარდა ამისა, საქართველოში აღინიშნება ელექტროენერგიის მოხმარების საგრძნობი ზრდა, ჯამური მოხმარება წელიწადში საშუალოდ 4.3%-ით იზრდება. ასევე დაგეგმილია მზისა და ქარის არაერთ სადგურის ქსელში ინტეგრირება, რაც

ერთის მხრივ გაზრდის გენერაციას, მეორეს მხრივ კი გენერაციას ნაკლებად საიმედოს გახდის.

საქართველოს გადამცემი ქსელი ძირითადად რადიალური ელექტროგადამცემი ხაზებისგან შედგება [1]. მაგალითად, ქვეყნის ერთ-ერთი მსხვილი რეგიონი ელექტროენერგიის უმეტესობას ერთი ხაზით იღებს. ამ ხაზის გათიშვა გამოიწვევს მოხმარების შეზღუდვას. გარდა ამისა, მძლავრი ჰესების უმრავლესობა განლაგებულია დასავლეთ საქართველოში, ხოლო უდიდესი მოხმარების კვანძები – აღმოსავლეთ საქართველოში. ქვეყანაში ასევე არის მცირე რაოდენობის სისტემათაშორისი ხაზები.

საქართველოს ელექტროენერგეტიკულ სისტემაში მცირე სისტემის კვალობაზე გვხვდება დიდი სიმძლავრის გენერატორები. მათი გათიშვა სისტემაში მკვეთრ უბალანსობას იწვევს, განსაკუთრებით იზოლირებულ რეჟიმში ოპერირებისას. ამასთანავე, აფხაზეთის რეგიონში მზარდი და არასტაბილური მოხმარებაა. აფხაზეთი ძირითადად მარგდება ერთი ხაზით ან ერთი სისტემათაშორისი ხაზით რუსეთიდან. ზოგ შემთხვევაში აფხაზეთი ორივე ხაზიდან იღებს ელექტროენერგიას. საქართველოს გადამცემი ქსელის ტოპოლოგია მუდამ იცვლება, რაც განაპირობებს წელიწადის განმავლობაში მკვეთრად განსხვავებულ რეჟიმებს.

ზემოთ აღნიშნული გამოწვევების დასაძლევად აუცილებელია, რომ საქართველოს ელექტროენერგეტიკულ სისტემას ჰქონდეს საბალანსო რეზერვების საჭირო მოცულობა, რაც უზრუნველყოფს სისტემის საიმედო მუშაობას და მიწოდების უსაფრთხოების კრიტერიუმების დაკმაყოფილებას.

ძირითადი ნაწილი

საბალანსო რეზერვი არის ის სიმძლავრე, რომელიც გამოიყენება სისტემაში გაჩენილი უბალანსობის აღმოსაფხვრელად. სხვა სიტყვებით, საბალანსო რეზერვის დანიშნულება არის სისტემაში სიხშირის დასაშვებ ზღვრებში შენარჩუნება.

საბალანსო რეზერვების მოცულობები იანგარიშება კვირაში ერთხელ, რის შემდეგაც ვაჭრობა ხორციელდება საბალანსო ბაზრის აუქციონზე.

ზოგადად, საბალანსო რეზერვები გამოიყენება სიხშირის ასაწევად, როდესაც სისტემაში გენერაციის დეფიციტია ან დასაწევად, როდესაც გენერაციის სიჭარბეა. ორივე შემთხვევაში, საბალანსო რეზერვები არის შემდეგი ტიპის [2]:

- FCR (Frequency Containment Reserve) (სიხშირის შეკავების რეზერვი) – მოქმედებას იწყებს უბალანსობის წარმოქმნიდან თითქმის მყისიერად, მისი დანიშნულებაა სიხშირის ცვლილების შეჩერება;

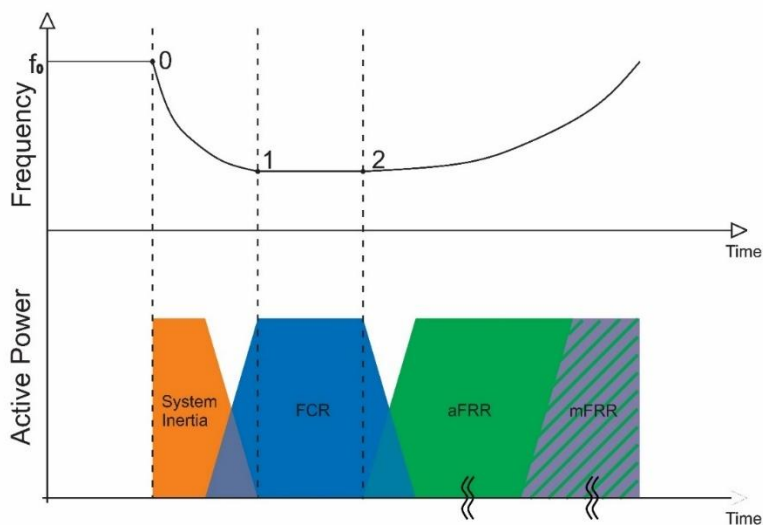
სიხშირის აღდგენის რეზერვი არესებობს ორი სახის:

- aFRR (automatic Frequency Restoration Reserve) (სიხშირის აღდგენის ავტომატური რეზერვი)

– მოქმედებას იწყებს უბალანსობის წარმოქმნიდან 30 წამში. იგი თანდათან ანაცვლებს FCR-ს, როდესაც სიხშირე რაიმე ნიშნულამდე გაჩერდება. იგი მოქმედებას ავტომატურად იწყებს. aFRR-ის დანიშნულებაა სიხშირის ნომინალურ მნიშვნელობამდე აღდგენა. მხოლოდ სიხშირის რეგულატორის მქონე გენერატორს შეუძლია aFRR-ის მიწოდება. aFRR, გამონაკლისი შემთხვევების გარეშე, სიმეტრიული ერთეულია, რაც ნიშნავს, რომ მისი მოცულობა მოკლებისთვის და მომატებისთვის ერთმანეთის ტოლია;

- mFRR (manual Frequency Restoration Reserve) (სიხშირის აღდგენის ხელით მართვადი რეზერვი) – მოქმედებას იწყებს უბალანსობის წარმოქმნიდან 15 წუთში. მისი დანიშნულებაა დაეხმაროს aFRR-ს სიხშირის აღდგენაში. mFRR-ის ამოქმედება ხორციელდება ხელით.

იმისთვის, რომ საბალანსო რეზერვების მოქმედების პრინციპი უფრო გასაგები იყოს, განვიხილოთ სისტემაში მძლავრი გენერატორის ავარიულად გამორთვის შემთხვევა.



სურ. 1. საბალანსო რეზერვების მოქმედების მიმდინარეობა.

უბალანსობის წარმოქმნისას (წერტილი 0) სიხშირის რეგულირებას უპირველესად იწყებენ სისტემაში არსებული გენერატორები მათი ინერციით (დაგროვილი კინეტიკური ენერგიით). უბალანსობის წარმოქმნიდან 2 წამში მოქმედებას იწყებს FCR, რომელიც სიხშირის ვარდნას რაიმე ნიშნულამდე აჩერებს (წერტილი 1). უბალანსობის წარმოქმნიდან 30 წამში მოქმედებას იწყებს aFRR (წერტილი 2), რომელიც ანაცვლებს FCR-ს და იწყებს სიხშირის აღდგენას ავარიამდელ ნიშნულამდე. იმ შემთხვევაში, თუ aFRR-ის მოცულობა საკმარისი არ არის სიხშირის ბოლომდე აღსადგენად, უბალანსობის წარმოქმნიდან 15 წუთში მის დასახმარებლად მოქმედებას იწყებს mFRR.

საქართველოს გადამცემი ქსელის ოპერატორი იყენებს საბალანსო რეზერვების ანგარიშის დეტერმინისტულ მეთოდს. განიხილებოდა სხვა მეთოდების, მათ შორის, სტატისტიკური მეთოდის დაწერვა, თუმცა, საქართველოს გადამცემი ქსელის სპეციფიკებიდან და აგებულიდან გამომდინარე,

სტატისტიკური მეთოდი გაუმართლებელი აღმოჩნდა მისი მოუქნელობის გამო. კერძოდ, სტატისტიკური მეთოდი ვერ ითვალისწინებს საქართველოს გადამცემი ქსელის ცვალებად ტოპოლოგიას, ვინაიდან ეს მეთოდი იყენებს წარსულის სტატისტიკას. ამდენად, საქართველოში საბალანსო რეზერვების საანგარიშოდ შეირჩა დეტერმინისტული მეთოდი, რადგან იგი ითვალისწინებს კონკრეტული პერიოდის რეჟიმებს, რა დროსაც ქსელის ტოპოლოგიაში, გენერაციასა და მოხმარებაში თითქმის არანაირი ცვლილება არ არის. საბალანსო რეზერვების საანგარიშო ფორმულები შემუშავებულია ევროპის ენერგეტიკული გაერთიანების მიერ, რომელიც შემდგომში შესაბამისობაში მოვიდა საქართველოს ელექტროენერგეტიკულ სისტემასთან.

სიხშირის აღდგენის რეზერვები იანგარიშება შემდეგნაირად:

aFRR-ის გამოთვლის მეთოდოლოგია – aFRR-ის მოცულობა იანგარიშება შემდეგი ფორმულით:

$$aFRR = aFRR(UP) = aFRR(DOWN) = (\sqrt{aL_{max} + b^2} - b) + \Delta w_m \text{ (მგვტ)},$$

სადაც:

a და b არის მუდმივი რიცხვები, რომლებიც მორგებულია საქართველოში არსებულ სიხშირის რეგულატორების შესაძლებლობაზე ($a = 7$; $b = 44$);

L_{max} – საანგარიშო კვირაში საქართველოს უდიდესი მოხმარება;

Δw_m – ქარის სადგურის გენერაციის წუთობრივი გადახრა;

აღსანიშნავია, რომ $aFRR$ სიმეტრიული ერთეულია, რაც ნიშნავს, რომ იგი გამოიყენება როგორც მომატების, ისე მოკლების შემთხვევაში.

$mFRR$ -ის გამოთვლის მეთოდოლოგია – $mFRR$ იანგარიშება ცალ-ცალკე, მოკლებისა და მომატების შემთხვევაში.

მოკლების $mFRR$ -ის მოცულობა იანგარიშება შემდეგი ფორმულით:

$$mFRR(DOWN) = C_{max} - LaFRR + \Delta w_h \text{ (მგვტ)},$$

სადაც:

C_{max} არის საანგარიშო პერიოდში ისეთი უმსხვილესი მოხმარების ელემენტი, რომლის გამორთვის დროს ვერ კმაყოფილდება $N-1$ კრიტერიუმი. C_{max} შესაძლოა იყოს ჩამოთვლილთაგან ერთ-ერთი:

- მაქსიმალური გადადინება იმ მაღალი ძაბვის გადამცემ ხაზზე, რომლითაც მარაგდება აფხაზეთის ავტონომიური რესპუბლიკა (დაახლოებით 70%);

- საქართველოში არსებული უმსხვილესი საწარმოს მოხმარება;
- ერთი სისტემათაშორისი ხაზით ექსპორტის მაქსიმალური მნიშვნელობა.
- $LaFRR$ არის საანგარიშო პერიოდში $aFRR$ -ის მოცულობას გამოკლებული Δw_m ;
- Δw_h – ქარის სადგურის გენერაციის საათური გადახრა. ვინაიდან $mFRR$ მოქმედებას იწყებს უბალანსობის წარმოქმნიდან 15 წუთის შემდეგ, ქარის სადგურის გენერაციის გადახრა წუთობრივის ნაცვლად საათური აიღება.

მომატების $mFRR$ იანგარიშება შემდეგი ფორმულით:

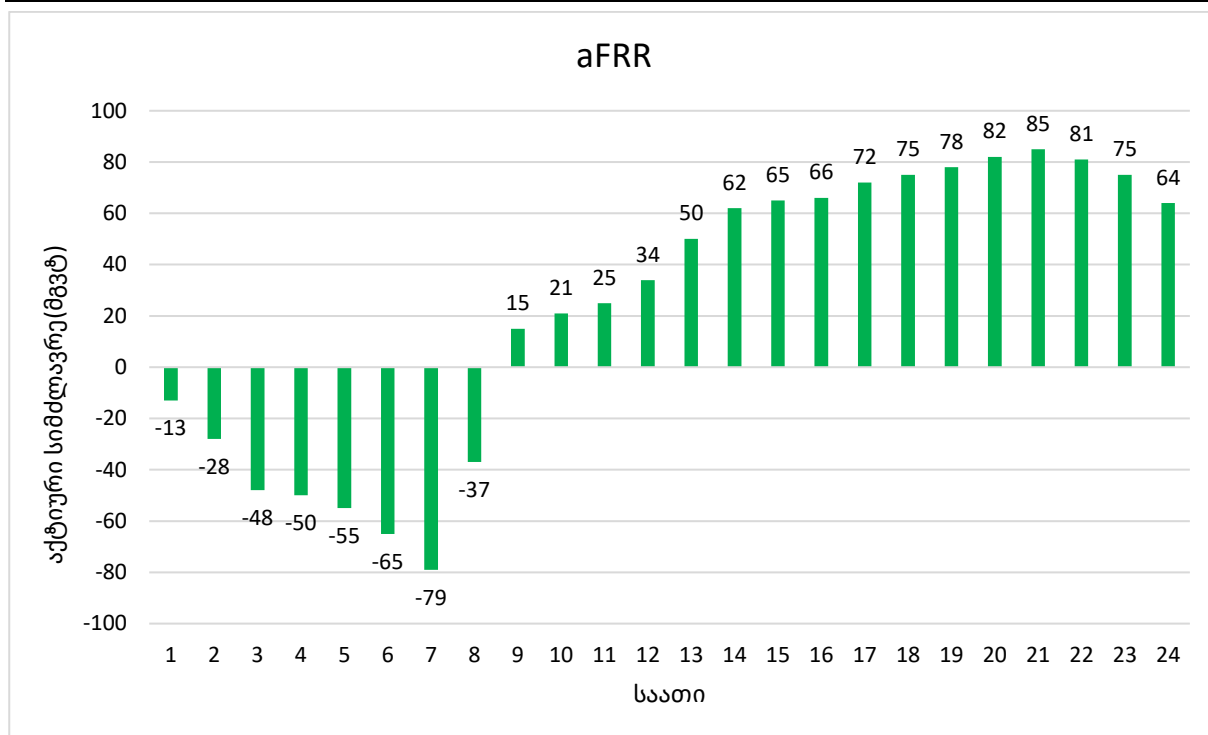
$$mFRR(UP) = G_{max} - LaFRR + \Delta w_h \text{ (მგვტ)},$$

სადაც:

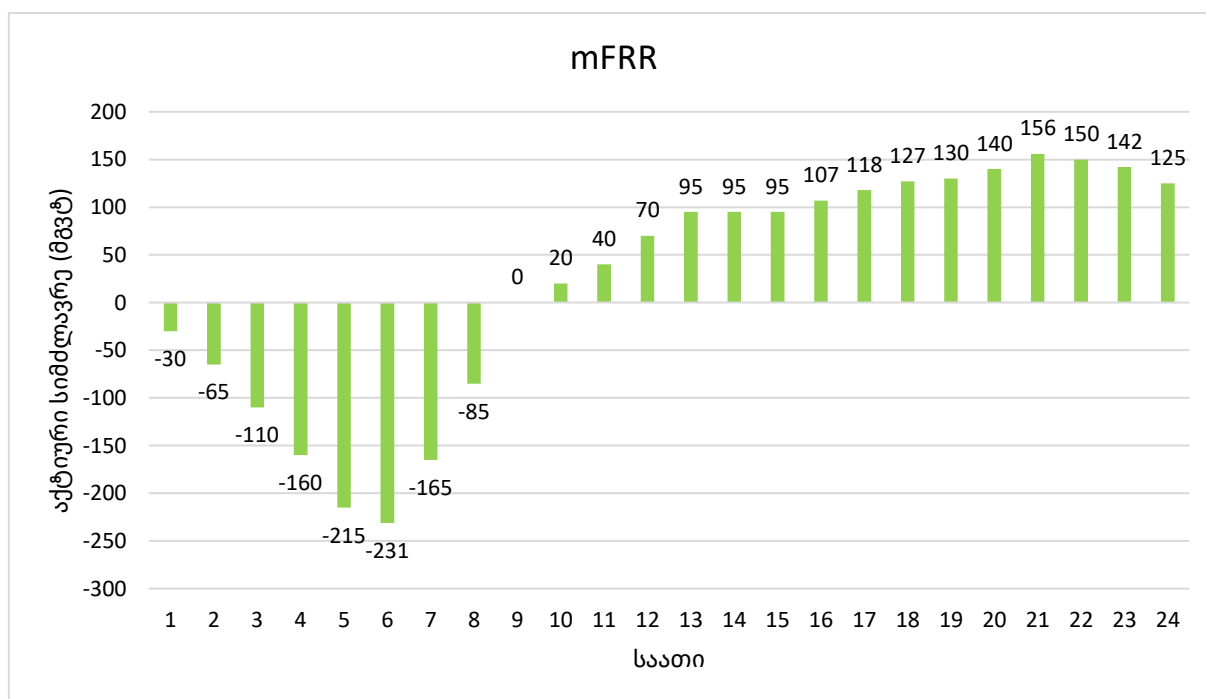
G_{max} არის ჩამოთვლილთაგან ერთ-ერთი:

- საანგარიშო პერიოდში ყველაზე მძლავრი გენერატორის მაქსიმალური ტვირთი;
- ერთი სისტემათაშორისი ხაზით იმპორტის უდიდესი გადადინება საანგარიშო პერიოდში;
- Δw_h – ქარის სადგურის გენერაციის საათური გადახრა.

ქარის სადგურის წუთობრივი და საათური გადახრები გამოთვლილია ყოველი კვარტალისთვის, გაუსის განაწილების მეთოდით. მიღებული სიმძლავრეები საკმარისია ქარის სადგურის ყველა შესაძლო წუთობრივი და საათური გადახრების 99%-ის დასაბალანსებლად.



სურ 2. aFRR-ის ყოველსაათური მიწოდება კონკრეტულ დღეს (ბაზრის სიმულაცია).



სურ 3. mFRR-ის ყოველსაათური მიწოდება რომელიმე დღეს (ბაზრის სიმულაცია).

სიხშირის აღდგენის რეზერვების გამოსათვლელად საჭირო შემავალი პარამეტრები საანგარიშო კვირამდე ორი კვირით ადრე მზადდება და ისინი მოიცავს შემდეგ ინფორმაციას:

- საქართველოს მაქსიმალური მოხმარება;
- უმსხვილესი გენერატორების მაქსიმალური დატვირთვა (მაგალითისთვის ჰესი-1 და თბო-1);
- ერთი ხაზით იმპორტის მაქსიმალური გადადინება (მაგალითისთვის ხაზი-1);
- უმსხვილესი საწარმოს მაქსიმალური მოხმარება (მაგალითისთვის საწარმო-1);
- აფხაზეთის მკვებავ ძირითად ხაზზე მაქსიმალური გადადინება (მაგალითისთვის ხაზი-2);
- ერთი ხაზით ექსპორტის მაქსიმალური გადადინება (მაგალითისთვის ხაზი-3).

საბალანსო რეზერვების საანგარიშოდ საჭირო შემავალი პარამეტრები (პირველი მაგალითი)

პარამეტრი	დატვირთვა (მგვტ)
მაქსიმალური მოხმარება	2100
მაქსიმალური გენერაცია (ჰესი-1)	240
მაქსიმალური გენერაცია (თბო-1)	230
მაქსიმალური იმპორტი (ხაზი-1)	120
საწარმო-1	90
მაქსიმალური გადადინება (ხაზი-2)	220
მაქსიმალური ექსპორტი (ხაზი-2)	400

საანგარიშო კვარტალში ქარის სადგურის გენერაციის წუთობრივი და საათური გადახრები შესაბამისად არის 3 მგვტ და 1 მგვტ.

ამ მაგალითში საქართველო მუშაობს პარალელურ რეჟიმში მეზობელ სისტემასთან, შესაბამისად, FCR-ის მოცულობა არ იანგარიშება.

aFRR-ის მოცულობა იქნება:

$$aFRR = \left(\sqrt{aL_{\max} + b^2} - b \right) + \Delta w_m = \left(\sqrt{7 * 2100 + 44^2} - 44 \right) + 3 = 87.98 \approx 88 \text{ მგვტ} \quad (1)$$

სადაც:

a და b მუდმივი რიცხვებია (a = 7 ; b = 44);

$L_{\max} = 2100$ მგვტ;

Δw_m არის ქარის სადგურის გენერაციის წუთობრივი გადახრა - 3 მგვტ.

მოკლების mFRR-ის მოცულობა იქნება:

$$mFRR (DOWN) = C_{\max} - LaFRR + \Delta w_h = 400 - 85 + 1 = 316 \text{ მგვტ} \quad (2)$$

სადაც:

$C_{\max}$ არის საანგარიშო პერიოდში ერთი ხაზით ექსპორტის მაქსიმალური გადადინება (400 მგვტ);

$LaFRR$ – საანგარიშო პერიოდში aFRR-ის მოცულობას გამოკლებული Δw_m , ამ შემთხვევაში – $88 - 3 = 85$ მგვტ;

Δw_h – ქარის სადგურის გენერაციის საათური გადახრა 1 მგვტ.

მომატების mFRR-ს მოცულობა იქნება:

$$\begin{aligned} mFRR (UP) &= G_{max} - LaFRR + \Delta w_h = \\ &= 240 - 85 + 1 = 156 \text{ მგვტ} \end{aligned} \quad (3)$$

სადაც:

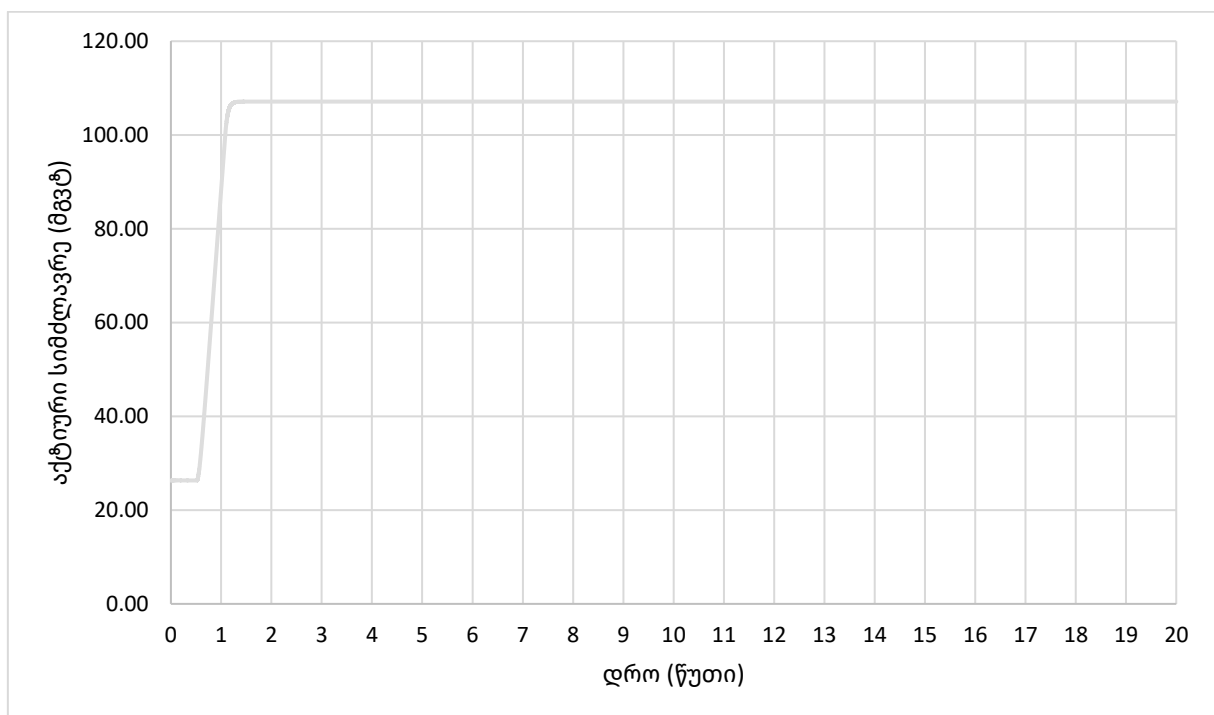
G_{max} არის გენერაციის უდიდესი წყარო საანგარიშო პერიოდში, ამ შემთხვევაში ჰესი-1 (240 მგვტ);

$LaFRR$ – არის საანგარიშო პერიოდში aFRR-ის მოცულობას გამოკლებული Δw_m , ამ შემთხვევაში -

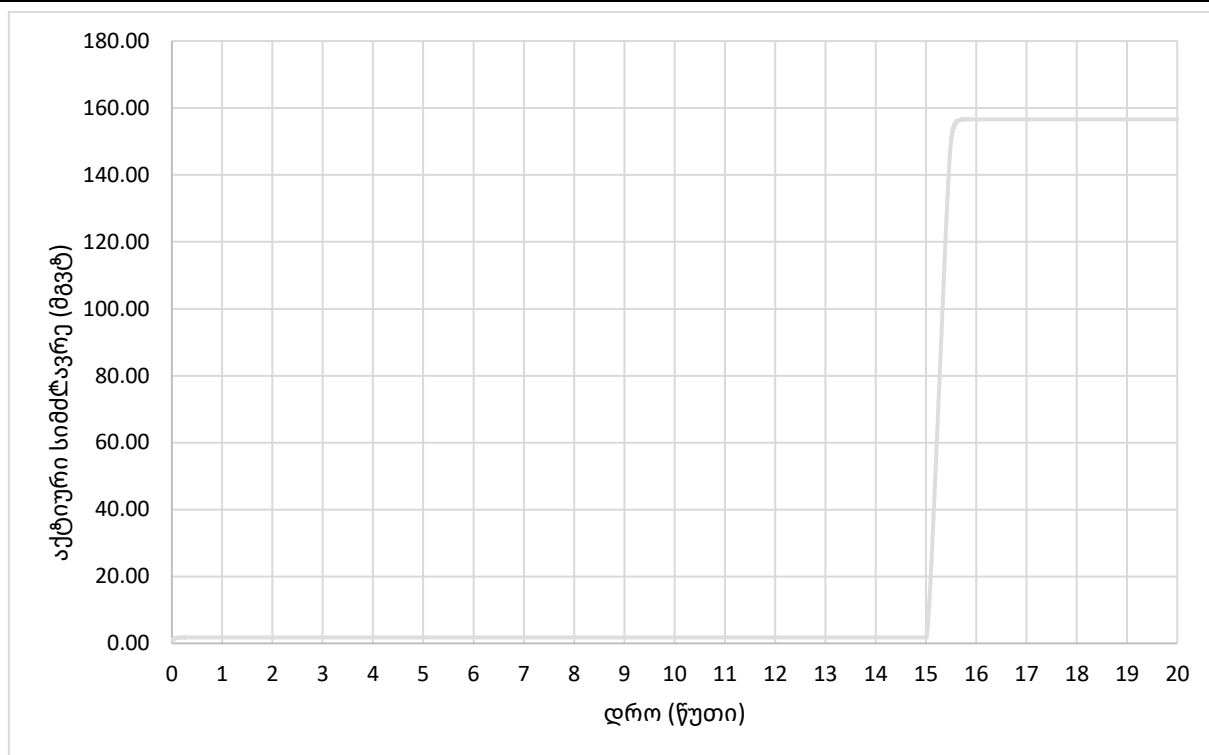
$$88 - 3 = 85 \text{ მგვტ};$$

Δw_h – სადგურის გენერაციის საათური გადახრა 1 მგვტ.

ქვემოთ სურათებზე მოცემულია თითოეული ტიპის საბალანსო რეზერვის მიწოდება დროის განმავლობაში.



სურ 4. aFRR-ის მიწოდება მაგალითი 1.



სურ 5. მომატების mFRR-ის მიწოდება მაგალითი1.

როგორც აღინიშნა, aFRR ყოველთვის სიმეტრიული არ არის, ზამთრის პერიოდში არის შემთხვევები, როდესაც საწარმოებს შემცირებული მოხმარება აქვთ, ხოლო საქართველოდან ექსპორტი არ

ხორციელდება. შედეგად, მოკლების რეზერვებზე მოთხოვნა დაბალია. ქვემოთ მოცემულ მაგალითში განხილულია სწორედ ასეთი შემთხვევა.

საბალანსო რეზერვების საანგარიშოდ საჭირო შემავალი პარამეტრები (მეორე მაგალითი)

პარამეტრი	დატვირთვა (მგვტ)
მაქსიმალური მოხმარება	2200
მაქსიმალური გენერაცია (ჰესი-1)	170
მაქსიმალური გენერაცია (თბო-1)	265
მაქსიმალური იმპორტი (ხაზი-1)	290
საწარმო-1	50
მაქსიმალური გადადინება (ხაზი-2)	85
მაქსიმალური ექსპორტი (ხაზი-2)	0

ქარის სადგურის გენერაციის წუთობრივი და საათური გადახრები ამ შემთხვევაში იქნება შესაბამისად 4 და 1.5 მგვტ.

aFRR-ის მოცულობა იქნება:

$$aFRR = (\sqrt{aL_{\max} + b^2} - b) + \Delta w_m = (\sqrt{7 * 2200 + 44^2} - 44) + 4 = 91.67 \approx 92 \text{ მგვტ.}$$

სადაც:

a და b მუდმივი რიცხვებია ($a = 7$; $b = 44$);

$L_{\max} = 2200$ მგვტ;

Δw_m – ქარის სადგურის გენერაციის წუთობრივი გადახრა - 4 მგვტ.

მოკლების mFRR-ის მოცულობა იქნება:

$$mFRR (\text{DOWN}) = C_{\max} - LaFRR + \Delta w_h = 85 - 88 + 1.5 = -1.5 \text{ მგვტ.}$$

სადაც:

$C_{\max}$ არის აფხაზეთის მკვებაჟ ძირითად ხაზზე მაქსიმალური გადადინება (85 მგვტ);

$LaFRR$ – საანგარიშო პერიოდში aFRR-ის მოცულობას გამოკლებული Δw_m , ამ შემთხვევაში – $92 - 4 = 88$ მგვტ;

Δw_h – ქარის სადგურის გენერაციის საათური გადახრა 1.5 მგვტ.

მომატების mFRR-ის მოცულობა იქნება:

$$mFRR (\text{UP}) = G_{\max} - LaFRR + \Delta w_h = 265 - 88 + 1.5 = 178.5 \text{ მგვტ.}$$

სადაც:

$\max(G_{\max})$ არის საანგარიშო პერიოდში გენერაციის უდიდესი წყარო, ამ შემთხვევაში თბო-1 (265 მგვტ);

$LaFRR$ – საანგარიშო პერიოდში aFRR-ის მოცულობას გამოკლებული Δw_m , ამ შემთხვევაში – $92 - 4 = 88$ მგვტ;

Δw_h – ქარის სადგურის გენერაციის საათური გადახრა 1.5 მგვტ.

ანგარიშების თანახმად, მოკლების mFRR-ის მოცულობა უარყოფითია. ასეთ შემთხვევაში, მისი საჭიროება საანგარიშო პერიოდში არ არსებობს და უდიდესი მომხმარებლის გამორთვას მთლიანად aFRR არეზერვებს. შედეგად, მის თავდაპირველ მნიშვნელობას მოაკლდება მოკლების mFRR-ის მოცულობის აბსოლუტური მნიშვნელობა:

$$aFRR(\text{DOWN}) = (\sqrt{aL_{\max} + b^2} - b) + \Delta w_m + mFRR(\text{DOWN}) = (\sqrt{7 * 2200 + 44^2} - 44) + 4 + (-1.5) = 90.17 \approx 91 \text{ მგვტ.}$$

$$aFRR(\text{UP}) = (\sqrt{aL_{\max} + b^2} - b) + \Delta w_m = (\sqrt{7 * 2200 + 44^2} - 44) + 4 = 91.67 \approx 92 \text{ მგვტ,}$$

ამრიგად, ხაზი-2-ის გამორთვისას, სისტემაში სიხშირის აღსადგენად მხოლოდ 91 მგვტ რეზერვი იქნება საჭირო, რომელსაც მთლიანად უზრუნველყოფს aFRR.

დასკვნა

საქართველოს ელექტროენერგეტიკული სისტემა, მისი მცირე ზომისა და გამორჩეული სტრუქტურიდან გამომდინარე, მრავალი გამოწვევის წინაშე დგას. სწორედ ამიტომ არის აუცილებელი, ქვეყანას ჰქონდეს საბალანსო რეზერვების გამოთვლის მასზე მორგებული მოდელი, რათა უზრუნველყოფილ იქნეს სისტემის მდგრადობა. ვინაიდან საქართველოს ელექტროენერგეტიკული სისტემა განვითარებისა და ევროპის ენერგეტიკულ გაერთიანებასთან ჰარმონიზაციის ეტაპზეა, საჭიროა რეზერვების გამოთვლის მეთოდოლოგია აქტუალური გამოწვევების საპირწონედ მუდმივად დაიხვეწოს

ლიტერატურა

1. Georgian State Electrosystem, *Ten-Year Network Development Plan of Georgia 2024–2034*, Tbilisi, Georgia, 2024. [Online]. Available: https://gse.com.ge/sw/static/file/TYNDP_GE-2024-2034_ENG.pdf
2. ENTSO-E, *The Capacity Allocation and Congestion Management Regulation*, Brussels, Belgium, 2019.

UDC 621.311

SCOPUS CODE 2102

<https://doi.org/10.36073/1512-0996-2026-3-113-124>

Determining The Methodology Of Calculating Frequency Restoration Reserves In Georgian Power System

David Tkeshelashvili	Georgian Technical University, Faculty of Power Engineering, Doctoral Student, Georgia E-mail: davit.tkeshelashvili2000@gmail.com
Archil Kokhtashvili	Georgian Technical University, Faculty of Power Engineering, Professor, Georgia E-mail: archilkokhtashvili@gmail.com
Irakli Gordiashvili	Georgian Technical University, Faculty of Power Engineering, Doctor, Georgia E-mail: irakli.gordiashvili@gse.com.ge
Ivane Mtchedlishvili	Georgian Technical University, Faculty of Power Engineering, Doctorsenior Engineer, Department of Electronic Systems and Analytics, Georgia E-mail: ivane.mtchedlishvili@gse.com.ge
Irakli Vakhtangadze	Georgian Technical University, Faculty of Power Engineering, Doctor, Georgia E-mail: irakli.vakhtangadze@gse.com.ge

Reviewers:

- T. Jikia**, Georgian Technical University Faculty of Power Engineering, Associate Professor, Georgia
E-mail: tamar.jikia@gse.com.ge
- D. Japaridze**, Caucasus University School of Technology, Associate Professor, Georgia
E-mail: djapharidze@cu.edu.ge

Abstract. As part of harmonization with European Network of Transmission Network Operators, a methodology of calculating frequency restoration reserves was determined for Georgian power system. It takes into consideration unique characteristics and main challenges of Georgia's grid, as well, as conditions of safely integrating variable renewable energy sources. Classification and uses of frequency restoration reserves is based on the experience of

European Network of Transmission Network Operators and has been modified to suit the small size and flexibility of Georgian power system, as well, as its grid configuration. Frequency restoration reserves calculated with this methodology will be traded in a weekly electricity market auction conducted by transmission system operator as ancillary services. The purpose of this methodology is to determine necessary frequency restoration reserve capacities for worst case scenarios, in order to ensure grid stability.

Keywords: Balancing Reserves; Flexibility; Frequency Restoration; Generation Adequacy; Security of Supply.

განხილვის თარიღი 23.12.2025

შემოსვლის თარიღი 23.03.26.2026

ხელმოწერილია დასაბეჭდად 25.09.2026