

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

არჩილ კოსტაშვილი

ენერგოსისტემაში უეცრად წარმოქმნილი აქტიური სიმძლავრის
დეფიციტის ან ნაჭარბის ლიკვიდაცია

დოქტორის აკადემიური ხარისხის მოსაპოვებლად
წარდგენილი დისერტაციის

ავტორ ე ფ ე რ ა ტ ი

თბილისი

სამუშაო შესრულებულია საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის
ენერგეტიკისა და ტელეკომუნიკაციის ფაკულტეტის
ელექტროენერგეტიკის, ელექტრონიკის და ელექტრომექანიკის დეპარტამენტის
ელექტროენერჯის წარმოების, გადაცემის და განაწილების №17 მიმართულებაზე

სამეცნიერო ხელმძღვანელი:

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის ენერგეტიკისა და
ტელეკომუნიკაციის ფაკულტეტის ელექტროენერგეტიკის, ელექტრონიკის და
ელექტრომექანიკის დეპარტამენტის № 17 მიმართულების სრული პროფესორი –
მიხეილ რუშვაძე

რეცენზენტები:

1. საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის ენერგეტიკისა და
ტელეკომუნიკაციის ფაკულტეტის ელექტროენერგეტიკის, ელექტრონიკის და
ელექტრომექანიკის დეპარტამენტის №18 მიმართულების ასოცირებული
პროფესორი – **კონსტანტინე წერეთელი**
2. შპს GWP-ის სარეგულაციო დაცვის ჯგუფის უფროსი, აკადემიური დოქტორი –
ვახტანგ გიორგობიანი

დაცვა შედგება ----- წლის ”-----” -----, ----- საათზე
საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის ენერგეტიკისა და
ტელეკომუნიკაციის ფაკულტეტის სადისერტაციო საბჭოს კოლეგიის
სხდომაზე, კორპუსი -----, აუდიტორია -----
მისამართი: 0175, თბილისი, კოსტავას 77.

დისერტაციის გაცნობა შეიძლება სტუ-ს
ბიბლიოთეკაში, ხოლო ავტორეფერატის - ფაკულტეტის ვებ-გვერდზე

სადისერტაციო საბჭოს მდივანი -----
სრული პროფესორი

/გ. ხელიძე/

რეზიუმე

უახლოეს პერპექტივაში საქართველოს ენერგოსისტემა “სიმძლავრის ხიდის” პროექტის ფარგლებში დაუკავშირდება აზერბაიჯანისა და თურქეთის ენერგოსისტემებს, ამასთან, საქართველოს სისტემაში აშენდება პიდროსადგურების დიდი რაოდენობა. ეს, ერთი მხრივ, გაზრდის სისტემის მდგრადობასა და საიმედოობას, თუმცა, მეორეს მხრივ, წარმოშობს საქართველოს სისტემაში სიმძლავრის დიდი უბალანსობის წარმოქმნის საფრთხეს, რაც მდგომარეობს შემდგომში: აზერბაიჯანთან დამაკავშირებელი 500 კვ ევხ “მუხრანის” გამორთვისას მისი პარალელური 330 კვ შტო – ევხ “მუხრანი” ვერ უზრუნველყოფს ავარამდელ სიმძლავრის ტრანზიტს და გამოთული იქნება გადატვირთვისაგან დაცვით და რადგან საქართველოს სისტემა თურქეთის სისტემასთან დაკავშირებული იქნება მუდმივი დენის ჩანართით, თურქეთისკენ გადადინება არ შეიცვლება და ამ სისტემაში მიმდინარე პროცესები გავლენას ვერ მოახდენს საქართველოს ენერგოსისტემაზე, შედეგად, საქართველოს სისტემაში წარმოიქმნება სიმძლავრის დიდი დეფიციტი - სიდიდით აზერბაიჯანიდან საქართველოში ავარიამდელი შემოდინების ტოლი, გენერატორების პირველადი ამძრავების სიჩქარის რეგულატორების გავლენით, საქართველოს სისტემის მექანიკური სიმძლავრის ზრდა, ბუნებრივია მყისიერად ვერ მოხერხდება, ამიტომ გენერატორები დამოხრუჭდებიან და სისტემის სიხშირე დაიწყებს ინტენსიურ შემცირებას, რაც დეფიციტის აღმოფხვრის ღონისძიებების გაშუყენლობის შემთხვევაში, სისტემის დაშლით დამთავრდება. საპირისპირო პროცესს ექნება ადგილი საქართველოსა და თურქეთის დამაკავშირებელი 400 კვ ევხ “მესხეთის” გამორთვის შემთხვევაში. ამ დროს საქართველოს სისტემაში შეიქმნება თურქეთში ავარიამდელი გადინების ტოლი სიმძლავრის ნაჭარბი, გენერატორების პირველადი ამძრავების სიჩქარის რეგულატორების გავლენით, საქართველოს სისტემის მექანიკური სიმძლავრის შემცირება, ბუნებრივია მყისიერად ვერ მოხერხდება, ამიტომ გენერატორები აჩქარდებიან და სისტემის სიხშირე დაიწყებს ინტენსიურ ზრდას და ამ ნაჭარბის აღმოფხვრის ღონისძიებების გაუტარებლობის შემთხვევაში, გარდამავალი პროცესი საქართველოს სისტემაში შეიძლება დასრულდეს მდგრადობის დარღვევით ან სისტემის დაშლით. ამიტომ მნიშვნელოვანი იქნება სიმძლავრის ნაჭარბისა და დეფიციტის შესაბამისი ღონისძიებების შემუშავება და გატარება საქართველოს პერსპექტიულ ენერგოსისტემაში. სწორედ ამ პრობლემას და მისი გადაწყვეტის ალტერნატივებს ეძღვნება აღნიშნული ნაშრომი.

ნაშრომში დადგენილია ემპირული და ანალიზური დამოკიდებულებები სიმძლავრის ბალანსსა და სიხშირეს შორის. დადგენილია სიმძლავრის უბალანსობის აღმოფხვრის ისეთი სიჩქარე/კანონზომიერება რომელიც გარდამავალ პროცესში სისტემის გენერატორების ნებისმიერი შემადგენლობისას იძლევა სისტემის სიხშირის შენარჩუნების საშუალებას დასაშვებ ფარგლებში.

ნაშრომი შედგება შესავლისაგან, ლიტერატურის მიმოხილვისგან, და ძირითადი ტექსტის ხუთი თავისაგან, რომელიც მოიცავს ექსპერმენტალურ ნაწილს, მის ანალიზსა და დასკვნების. ნაშრომს ბოლოს თან ახლავს დანართი.

პირველ თავში ენერგოსისტემის საინჟინრო მოდელირების პროგრამით PSS/E (Power System Simulator for Engineering) საქართველოს ენერგოსისტემის გენერატორების სხვადასხვა შემადგენლობისათვის და დადგენილია სიხშირის ემპირული დამოკიდებულება სისტემაში ჩართული გენერატორების ჯამურ ინერციის მუდმივასა და სიმძლავრის დეფიციტის მნიშვნელობაზე, აგებულია ზედაპირი – სისტემის სიხშირის ცვლილების დამოკიდებულება სისტემაში ჩართული გენერატორების მბრუნავ მასებსა (ინერციის მუდმივებზე) და სისტემაში წარმოქმნილ სიმძლავრის უბალანსობის სიდიდეზე. შედარებულია მიღებული ემპირული ფორმულითა და PSS/E - თი მიღებული შედეგები. განსხვავება მათ შორის არ აღემატება 5%-ს.

მეორე თავში, მრავალრიცხოვანი ანგარიშების გამოცდილების საფუძველზე, სიმძლავრის უბალანსობის წარმოქმნის შემდგომი სიხშირის დროში ცვლილების მრუდი შეცვლილია ორი ექსპონენციალური ფუნქციის ჯამით. Visual Basic-ში დაწერილი პროგრამის საფუძველზე დადგენილია სისტემის ეკვივალენტური ინერციის მუდმივასა და სიმძლავრის დეფიციტის სიდიდეზე სიხშირის დამოკიდებულება. ასევე დადგენილია ავარიის შემდგომი სიმძლავრის უბალანსობის შემცირების ისეთი სიჩქარე, რომ სიხშირის მნიშვნელობა არ გასცდეს დასაშვებ ზღვრებს. ჩატარებულია შესაბამისი გაანგარიშებები და PSS/E - თი და შემუშავებულია რეკომენდაციები სისტემის მბრუნავი რეზერვისა, საგ-ების/ სიხშირის აწევის ფაქტით გენერატორის გამორთვების რეგულირების ოპტიმალური მოქმედებებისათვის სიმძლავრის უბალანსობის წარმოქმნის შემდეგ სისტემაში მიმდინარე გარდამავალი პროცესების სხვადასხვა სცენარის ანალიზის საფუძველზე.

მესამე თავში შემუშავებულია მათემატიკური მოდელი, რომელიც გარკვეული დაშვებების საფუძველზე იძლევა საშუალებას განსაზღვრული იქნას ანალიზური დამოკიდებულება სისტემის მექანიკურ და ელექტრულ სიმძლავრეების სხვაობასა და სისტემის სიხშირეს შორის. გაკეთებულია შემდეგი დაშვებები:

- სისტემა წარმოდგენილია ერთი ეკვივალენტური გენერატორის სახით;

- სისტემის ყველა ელემენტის სიხშირე ერთნაირად იცვლება, გენერატორებს შორის რხევები უგულვებელყოფილია;

- მექანიკური სიმძლავრე იცვლება წრფივად და რეგულირების დახრილობისაგან დამოუკიდებლად;

- ელექტრული სიმძლავრე იცვლება ნახტომისებრად.

დადგენილია სიხშირის ცვლილების ანალიზური გამოსახულება.

Visual Basic-ში დაწერილია პროგრამა, რომელიც სისტემაში ჩართული გენერატორების კონკრეტული შემადგენლობის, მათი მექანიკური სიმძლავრის ზრდის უნარისა და სისტემაში წარმოქმნილი აქტიური

სიმძლავრის დეფიციტის ან ნაჭარბის წარმოქმნის შემთხვევაში ანგარიშობს რა სიმძლავრის დატვირთვა ან რა სიმძლავრისა და ინერციის გენერატორები უნდა გამოირთოს, შესაბამისად, რომ სისტემის სისწირის მნიშვნელობა არ გასცდეს დასაშვებ ზღვრებს. აგრეთვე მოცემულია მეთოდი და შემუშავებულია შესაბამისი მათემატიკური მოდელი ზემოთაღნიშნულ სიმძლავრეების ბალანსზე სისტემის სისწირის განსასაზღვრად, როდესაც სისტემის გენერატორების მბრუნავი რეზერვი შეზღუდულია. სისტემაში სიმძლავრის უბალანსობის წარმოქმნის შემდეგ მიმდინარე გარდამავალი სცენარები მოდელირებულია მესამე თავში შემუშავებულ Visual Basic-ში დაწერილ მოდელითა და PSS/E – თი. შედეგების მაქსიმალური განსვავება არ აღემატება 7%-ს, რაც აღნიშნული მეთოდის საფუძველზე დაწერილი მოდელის გამოყენების საშუალებას იძლევა ენერგოსისტემის მართვისა და მონაცემთა შეგროვების პროგრამაში SCADA.

მეოთხე თავში სისტემის ეკვივალენტური გენერატორის, მისი ტურბინისა და სიჩქარის რეგულატორის მათემატიკური მოდელის მაგალითზე, შემუშავებული და განხილულია სიმძლავრის უბალანსობის ლიკვიდაციის იტერაციული მეთოდი სისტემის ელემენტების მახასიათებლების გათვალისწინების პირობებში. აღნიშნულ მეთოდს დაწერილი პროგრამის SCADA - ში ინტეგრირების შედეგად შეუძლია სიმძლავრის უბალანსობის ლიკვიდაციის მხრივ საუკეთესო სიზუსტის მოცემა.

მეხუთე თავში შემუშავებული და წარმოდგენილია SCADA - ს ავარიული რეჟიმების მართვის მოდული და სიმძლავრის დეფიციტისა და ნაჭარბის წარმოქმნის დროს მისი მოქმედების სქემა. ამ მოდულის მოქმედება საქართველოს ენერგოსისტემაში დაფუძლებული იქნება ნაშრომის პირველ-ოთხ თავში შემუშავებულ მათემატიკურ მოდელებსა და მეთოდებზე. განხილულია და PSS/E – თი მოდელირებულია სიმძლავრის უბალანსობისას SCADA – ს აღნიშნული მოდულის საშუალებით ეგზ “მუხრანის” გამორთვის შემთხვევაში საქართველოსა და აზერბაიჯანის ენერგოსისტემაში მიმდინარე გარდამავალი პროცესების სამი ალტერნატიული სცენარი და ჩატარებული ანალიზის საფუძველზე გამოვლენილია ამ სცენარებიდან ოპტიმალური.

კვლევის აქტუალობა

თანამედროვე ენერგოსისტემებში ისეთი ავარიები, რომლებიც იწვევს აქტიური სიმძლავრის დიდი დეფიციტის ან ნაჭარბის წარმოქმნას, ანუ სისშირის ინტენსიურ შემცირებას ან გაზრდას, ხასიათდებიან ყველაზე მძიმე მოსალოდნელი შედეგებით. თუ არ მოხდა მათი ადეკვატური ლივიდაცია, შესაძლოა, როგორც მომხმარებლების მკვეთრი დაზარალება, ასევე მთლიანად ენერგოსისტემის სისტემის სრული ჩაქრობა.

უახლოეს პერპექტივაში საქართველოს ენერგოსისტემა დაუკავშირდება აზერბაიჯანისა და თურქეთის ენერგოსისტემებს. ამასთან, საქართველოს სისტემაში აშენდება ჰიდროსადგურების დიდი რაოდენობა და მნიშვნელოვანწილად გაძლიერდება საქართველოს სისტემის მაღალი ძაბვის – 500-220 კვ ქსელი, რაც, ერთის მხრივ, აამაღლებს სისტემის პოტენციალს დინამიკური მდგრადობისა და საიმედოობის თვალსაზრისით, მაგრამ, მეორეს მხრივ, სისტემის სატრანზიტო ფუნქციის გაზრდა და თურქეთში 600-1000 მგვტ სიმძლავრის გაცემის პერსპექტივა წარმოშობს მდგრადობის შენარჩუნების პრობლემას სიმძლავრის დიდი დეფიციტისა ან ნაჭარბის წარმოქმნისას. კერძოდ, რთული სიტუაცია იქმნება აზერბაიჯანიდან საქართველოს გავლით თურქეთში სიმძლავრის გაცემისას. აზერბაიჯანიდან სიმძლავრის მიღება შეიძლება განხორციელდეს 500 კვ ძაბვის ეგხ-ით - “მუხრანი” და 330 კვ ძაბვის ეგხ-ით “გარდაბანი”. იმდენად რამდენადაც საქართველოს ენერგოსისტემა დაუკავშირდება თურქეთის ენერგოსისტემას მუდმივი დენის ჩანართით, თურქეთში გაცემული სიმძლავრის სიდიდე არ შეიცვლება. მაშასადამე, თუ გამოირთო ეგხ “მუხრანი” და მისი პარალელურ ეგხ “გარდაბანზე” გადმოდინებამ გადააჭარბა ამ ხაზის გადატვირთვისაგან დაცვის სიდიდეს, ბუნებრივია ეს უკანასკნელიც გამოირთვება. ამრიგად, მოხდება აზერბაიჯანისა და საქართველოს სისტემების გაყოფა. სიმძლავრის დეფიციტის პირობებში სისტემის სისშირე დაიწყებს შემცირებას და სისშირით ავტომატური განტვირთვის (საგ) მოწყობილობები დაიწყებენ

დატვირთების გამორთვას. საგ-ები იწყებენ მუშაობას, როცა სიხშირე შემცირდება 48,8 ჰც-მდე და უფრო ქვევით. ხშირად, საგ-ების მიერ გამორთული სიმძლავრე დეფიციტს აჭარბებს და წარმოიქმნება სისტემაში უკვე სიმძლავრის ნაჭარბი, რის შედეგად აიწვევა სიხშირე და შეიძლება რომელიმე გენერატორი ან გენერატორთა ჯგუფი გამორთული იქნას სიხშირის აწვევისგან დაცვით. ეს პროცესი კი შეიძლება რამდენიმეჯერ განმეორდეს და სისტემის დაშლით დამთავრდეს.

საწინააღმდეგო ვითარებას ექნება ადგილი, თუკი საქართველოს სისტემა იზოლირებულად იმუშაებს, თურქეთში მუდმივი დენის ჩანართის გავლით გადასცემს 600-1000 მგვტ სიმძლავრეს და მოხდება თურქეთთან დამაკავშირებელი 400 კვ ეგხ-ის “მესხეთი” გამორთვა. ამ დროს საქართველოს სისტემაში წარმოიქმნება სიმძლავრის დიდი ნაჭარბი, სიხშირე დაიწყებს ინტენსიურ ზრდას. შედეგად, ამ სისტემის გენერატორების გარკვეული რაოდენობა გამოირთვება სიხშირის აწვევისგან დაცვით. მაგრამ არ არის გამორიცხული გამორთული გენერატორების სიმძლავრე “ხერთვისის” გამორთვის შემდეგ გაჩენილი სიმძლავრის ნაჭარბზე მეტი აღმოჩნდეს. ამრიგად, ენერგოსისტემაში წარმოიქმნება უკვე სიმძლავრის დეფიციტი და ა.შ. წინა შემთხვევის მსგავსად ეს პროცესიც შესაძლოა სისტემის დაშლით დასრულდეს.



ნახ 1

არსებული მეთოდების ნაკლოვანება

სიმძლავრეების ბალანზე სისწილის დამოკიდებულება, დღემდე არსებულ მეთოდებს ძირითადად ხარისხობრივად აქვთ მოცემული ვიდრე რაოდენობრივად. სისწილის ღრმა შემცირების ან ზრდის შემთხვევების თავიდან ასაცილებლად საგებისა და გენერატორების სისწილის აწვეისგან დაცვების განლაგებისათვის ამ მეთოდებით რეკომენდირებულია სისტემაში სიმძლავრის უბალანსობის წარმოქმნისას გარდამავალი პროცესების მრავალრიცხოვანი მოდელირება სახასიათო რეჟიმებში. რაც, თავისთავად, დიდ დროს და ძალისხმევას მოითხოვს. თუმცადა ისინი, ჩვეულებრივ, ნაკლები სიზუსტით ხასიათდება და, იმდენად რამდენადაც შეიძლება რეალურ სისტემაში იარსებოს სახასიათო რეჟიმისგან განსხვავებულმა რეჟიმებმა, შედეგად, შეიძლება ამ რეჟიმებში განვითარებული პროცესების დროს სასისტემო ავტომატიკის მოქმედებით გამორთოს საჭიროზე მეტი დატვირთვა ან გენერაცია. რაც კვლავ გამოიწვევს სიმძლავრის უბალანსობას, რომელიც საწყისი უბალანსობის საპირისპირო ნიშნისა იქნება. ეს პროცესიც ბუნებრივია, სისტემის დაზარალების და დაშლის მიზეზიც კი შეიძლება გახდეს. ნებისმიერი შესაძლო რეჟიმში შესაძლო ავარიების ვარიანტის რიცხვმა კი შეიძლება წარმოუდგენლად დიდ სიდიდეს მიაღწიოს და არა თუ მათი მონაცემების დამუშავება, უბრალოდ მათი მოდელირებაც კი ძალიან ძნელი იქნება რამოდენიმე თვის ან წლის განმავლობაშიც კი.

ნაშრომის მიზანი

მათემატიკური მოდელების, მეთოდების და შესაბამისი ღონისძიებების შემუშავება სისტემაში წარმოქმნილი სიმძლავრის დეფიციტისა და ნაჭარბის ეფექტური ლიკვიდაციის უზრუნველსაყოფად. მათ საფუძველზე სასისტემო ავტომატიკის დამუშავება და მისი პროგრამული მუდულის შექმნა. ამ მოდულის ინტეგრირება სისტემის მართვისა და მონაცემთა შეგროვების პროგრამაში SCADA.

კვლევის ამოცანები

კვლევის მიზნებიდან გამომდინარე, დასმული და გადაწყვეტილი იქნა შემდეგი ამოცანები:

- სიხშირის ცვლილების ხასიათის დადგენა და მისთვის ემპირული სახის მიცემა, სიმძლავრის დეფიციტის ან ნაჭარბის წარმოქმნისას;
- სისტემის მექანიკური სიმძლავრის ცვლილების იმ კანონზომიერების პოვნა, რომელიც უზრუნველყოფს სიმძლავრის უბალანსობის წარმოქმნისას სიხშირის სასურველ ცვლილებას;
- ანალიზურ სახეში სისტემის სიხშირის დამოკიდებულების დადგენა წარმოქმნილი სიმძლავრის დეფიციტსა ან ნაჭარბზე;
- Visual Basic-ის პროგრამულ ენაზე სიმძლავრის უბალანსობის ლიკვიდაციის რიცხვითი მოდელის შექმნა;
- SCADA-სთვის მოდულის შექმნა, რომელიც ასრულებს სასისტემო ავტომატიკის ფუნქციებს, სისტემაში წარმოქმნილი სიმძლავრის უბალანსობის დროს.
- სიმძლავრის უბალანსობის ლიკვიდაციისთვის დატვირთვების/გენერაციის გამორთვისა და მბრუნავი რეზერვის მობილიზების ოპტიმალური პირობების დადგენა;
- ურთირთდაკავშირებული სისტემების ძირითადი კავშირის გამორთვისას გარდამავალი პროცესების წარმართვის ოპტიმალური სცენარის გამოვლენა.

მეცნიერული სიახლე

ნაშრომში შემუშავებულია მათემატიკური მეთოდები და მოდელები - სიხშირისა და სიმძლავრის ბალანსის დამოკიდებულების განსაზღვრისათვის. მიღებულია ამ დამოკიდებულების ემპირული სახე. იგვე დამოკიდებულება განსაზღვრულია როგორც ორი, დროზე ექსპონენციალურად დამოკიდებული ფუნქციის ჯამი; მექანიკური და ელექტრული სიმძლავრეების მრუდების წრფივ უბნებად დაყოფით, ამოხსნილია სისტემის ეკვივალენტური გენერატორის როტორის

მოძრაობის განტოლება. შემუშავებულია ინტერაქციული მოდელი, რომელიც რიცხვითი მეთოდის საფუძველზე მაქსიმალური სიზუსტით ადგენს უბალანსობის აღმოფხვრის საჭირო კანონზომიერებას.

პრაქტიკული მნიშვნელობა

საქართველოს ენერგოსისტემაში დანერგილ მართვისა და მონაცემთა შეგროვების სისტემას SCADA არ გააჩნია სასისტემო ავტომატიკის ფუნქცია. ნაშრომში შემუშავებული მეთოდებისა და Visual Basic-ის ენაზე დაწერილი პროგრამების საფუძველზე, SCADA სათვის შეიქმნა ავარიული რეჟიმების მართვის მოდული, რომელიც უზრუნველყოფს სისტემაში სიმძლავრის უბალანსობის ლიკვიდაციას.

ნაშრომის აპრობაცია

- ნაშრომის ძირითადი შედეგები წარმოდგენილი იქნა საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის №17 მიმართულების თემატურ სემინარებზე და მოწონებული იქნა.

- 2009 წელი საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის ღია სამეცნიერო კონფერენცია, ენერგეტიკის სექცია - I ადგილი.

- 2010 წელი საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის ღია საერთაშორისო სამეცნიერო კონფერენცია ენერგეტიკის სექცია - I ადგილი.

პუბლიკაციები

დისერაციის თემაზე გამოქვეყნებულია სტატიები რეცენზირებად, რეფერირებად რეიტინგულ სამეცნიერო ჟურნალებში.

ექსპერიმენტული ნაწილის შესახებ

ნაშრომის ხუთივე თავის ანალიზის დასკვნები გამყარებულია ექსპერიმენტული მოდელირების შედეგებით. ძირითადი გამოყენებული ექსპერიმენტული ინსტრუმენტია ენერგოსისტემის საინჟინრო მოდელირების პროგრამა PSSE (Power System Simulator for Engineering), ამასთან, II, III, IV თავებში შემუშავებული მათემატიკური მეთოდებისა და მოდელების საფუძველზე Visual Basic-ის პროგრამულ ენაზე შექმნილია ორიგინალური პროგრამები, პირობითი სახელწოდებებით GAMA (II თავი); APUL, APULS (III თავი), FREQ-30 (IV თავი).

თავი I

სიხშირის ცვლილების ხასიათის დადგენა აქტიური სიმძლავრის დეფიციტისა და ნაჭარბის წარმოქმნის დროს

დაშვების საფუძველზე, რომ ტვირთები გარდამავალ პროცესში მუდმივი სიდიდისაა, შენიშნული იქნა, რომ სისტემაში აქტიური სიმძლავრის დეფიციტის გაჩენის შემდეგ სიხშირის ზრდის სიჩქარე დამოკიდებულია სწორედ ამ დეფიციტის სიდიდეზე და სისტემის ჯამურ ინერციის მუდმივაზე, ანუ სისტემაში მომუშავე გენერატორების შემადგენლობაზე. ასევე, დაშვებული იქნა, რომ რეჟიმის დარღვევიდან 1 წმ-ის განმავლობაში სიხშირის დაცემას აქვს წრფივი ხასიათი. ამ დაშვებით სიხშირის მნიშვნელობა $t = 1$ წმ მომენტამდე შეგვიძლია ჩათვლილი იქნას სიხშირის ცვლილების სიჩქარედ.

სიხშირის ცვლილების ხასიათის დასადგენად გამოყენებული იქნა პროგრამული კომპლექსი PSS/E და აღებული იქნა საქართველოს ენერგოსისტემის პერსპექტიული სქემის 10 რეჟიმი. გაშვებული იქნა ნორმალური რეჟიმები, სისტემის ეკვივალენტური ინერციის მუდმივებით: 158 წმ - 434 წმ ფარგლებში. პირველ ეტაპზე, გამოყენებული იქნა გენერატორის როტორის იძულებითი მოძრაობის განტოლების გამარტივებული ფორმა

$$T_j \frac{ds}{dt} = \Delta \bar{P} \quad (1.1)$$

სადაც s - სრიალია, T_j - ეკვივალენტური ტურბინა-გენერატორის ერთობლივი ინერციის მუდმივა წმ, ხოლო $\Delta \bar{P}$ - სიმძლავრის უბალანსობის ფარდობითი სიდიდე 100 მგვა ბაზ. სიმძლავრის მიმართ.

განტოლების მარჯვენა მხარის მუდმივ სიდიდედ ჩათვლის საფუძველზე, მოხდა მისი განტოლების ანალიზური მეთოდით ამოხნა. მიღებული იქნა ამ ამონახსნის სახე ფიზიკური ერთეულებისთვის:

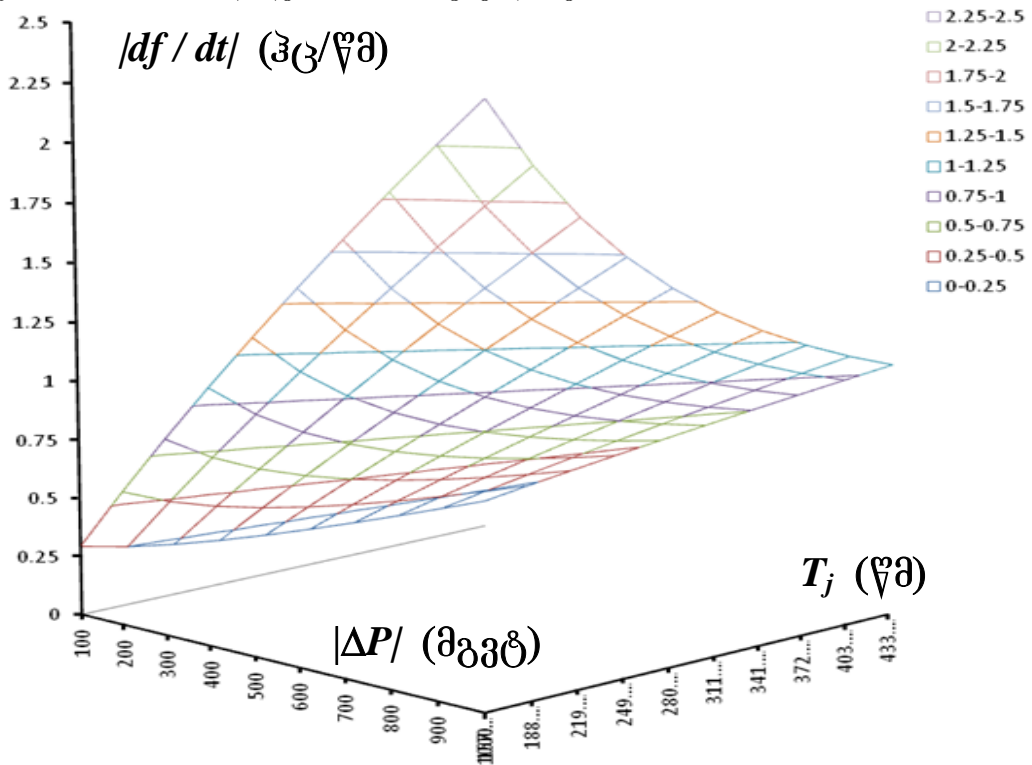
$$df / dt = \frac{1}{2} \cdot \frac{\Delta P}{T_j} (\text{პც/წმ}) \quad (1.2)$$

შედარებული იქნა აღნიშნული ფორმულითა და PSSE-თი მიღებული შედეგები. დადგინდა ამ შედეგებს შორის ცვლილებების დამოკიდებულება სიმძლავრის უბალანსობის სიდიდესა და სისტემაში ჩართული გენერატორების ჯამურ ინერციის მუდმივაზე: $\Delta P^{1.50165} / T_j^{2.12044}$ (პც/წმ). ამ უკანასკნელის გათვალისწინებით, მოხდა (1.2)-ის კორექცია. საბოლოოდ, მიღებული იქნა საძიებელი დამოკიდებულების ემპირული სახე (1.3).

აგებული იქნა შესაბამისი ზედაპირი (ნახ 2)

$$df / dt = \frac{1}{2} \cdot \frac{\Delta P}{T_j} - \frac{\Delta P^{1.50165}}{T_j^{2.12044}} \quad (\text{პც/წმ}) \quad (1.3)$$

ამ ფორმულას სიმძლავრის უარყოფით ნაზრდს – დეფიციტს – შეესებაშება df/dt -ს უარყოფითი მნიშვნელობები, ხოლო დადებითს – ნაჭარბს - df/dt -ს დადებითი მნიშვნელობები.



ნახ 2. სისწირის ცვლილების სიჩქარის დამოკიდებულება სიმძლავრის უბალანსობასა და სისტემის ჯამურ ინერციის მუდმივაზე

თავი II

სისტემის მექანიკური სიმძლავრის საჭირო ცვლილების ხასიათის დადგენა, სიხშირის ცვლილების სასურველი კანონზომიერების მიხედვით

მრავალრიცხოვანი გაანგარიშებების გამოცდილების საფუძველზე, შენიშნული იქნა: ნებისმიერი სიდიდის სიმძლავრის დეფიციტის წარმოქმნისას, თუკი მიღებული იქნა ამ დეფიციტის აღმოფხვრის ადეკვატური ღონისძიებები, მაშინ სიხშირის დროში ცვლილება შეიძლება გამოსახული იყოს შემდეგი ფორმულით:

$$f = e^{-\alpha_1 t} + (1 - e^{-\alpha_2 t}) \quad (2.1)$$

სადაც α_1 და α_2 საძიებელი კოეფიციენტებია, ხოლო სიხშირე მოცემულია ფარდობით ერთეულებში მისი ნომინალური მნიშვნელობის - 50 ჰც-ის მიმართ. საიდანაც

$$\frac{df}{dt} = -\alpha_1 e^{-\alpha_1 t} + \alpha_2 e^{-\alpha_2 t} \quad (2.2)$$

სისტემის მოძრაობის განტოლება წარმოდგენილ იქნა ფორმით:

$$T_M \frac{df}{dt} = P_{GEN} - P_{LOAD} = P_{GEN0} + \Delta P_{GEN}(t) - P_{LOAD} \quad (2.3)$$

სადაც T_M სისტემის ეკვივალენტური ინერციის მუდმივაა, P_{GEN0} გენერატორების საწყისი ჯამური სიმძლავრეა, P_{LOAD} დატვირთვის სიმძლავრეა მისი ნახტომისეხური მომატების შემდეგ, ხოლო $\Delta P_{GEN}(t)$ – დეფიციტის შემცირებაა დროში. აღსანიშნული იქნა, რომ ეს უკანასკნელი

შეიძლება მიღწეული იქნას როგორც სისტემაში გენერაციის ზრდით ანუ მბრუნავი რეზერვის მობილიზაციით, ასევე დატვირთვების გამორთვით. დატვირთვის მყისიერი ზრდის მომენტში გენერაციის მატებას ადგილი არ აქვს, ე.ი. როცა $t=0$, $\Delta P_{GEN}(t)=0$. ამიტომ ამ მომენტისთვის (2.2)-ის (2.3)-ში შეტანით $f=f_{min}$ -თვის და შესაბამისი $t=t_{min}$ -თვის გვექნება:

$$\alpha_2 - \alpha_1 = \frac{P_{GEN0} - P_{LOAD}}{T_M}$$

$$t_{min} = \frac{\ln\left(\frac{\alpha_1}{\alpha_2}\right)}{\alpha_1 - \alpha_2} \quad (2.4)$$

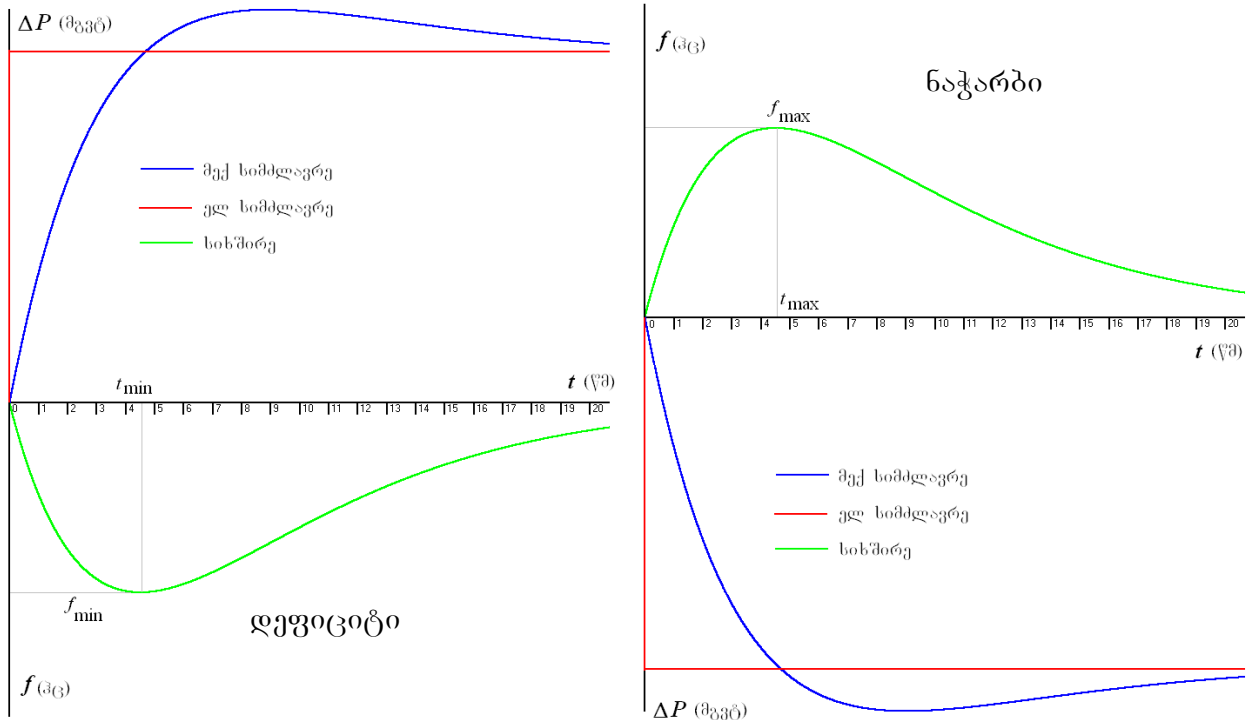
და

$$f_{min} = e^{-\alpha_1 \frac{\ln\left(\frac{\alpha_1}{\alpha_2}\right)}{\alpha_1 - \alpha_2}} + 1 - e^{-\alpha_2 \frac{\ln\left(\frac{\alpha_1}{\alpha_2}\right)}{\alpha_1 - \alpha_2}} \quad (2.5)$$

α_1 - და α_2 ნაპოვნი იქნა ნიუტონის იტერაციების მეთოდით. ამის შემდეგ (2.3) დან განსაზღვრული იქნა სიმძლავრის უბალანსობის შემცირების კანონზომიერება:

$$\Delta P(t) = T_M \left(-\alpha_1 e^{-\alpha_1 t} + \alpha_2 e^{-\alpha_2 t} \right) + P_{LOAD} - P_{GEN0} \quad (2.6)$$

ამ მიდგომით შეიძლება დადგენილი იქნას როგორც სისტემაში წარმოქმნილი აქტიური სიმძლავრის დეფიციტის, ასევე ნაჭარბის შემცირების საჭირო კანონზომიერება – სიხშირის ცვლილების სასურველი კანონზომიერების მიხედვით.



ნახ 3

თავი III

სიმძლავრის უბალანსობისა და სიხშირის ანალიზური დამოკიდებულების დადგენა

ამ დამოკიდებულების დასადგენად, დაშვებული იქნა:

1. სისტემა წარმოდგენილია ერთი ეკვივალენტური გენერატორის სახით;
2. სისტემის ყველა ელემენტის სიხშირე ერთნაირად იცვლება;
3. რადგან გენერატორების სიხშირე ერთნაირად იცვლება, ამიტომ ჩათვლილია რომ ისინი ასინქრონულ სიმძლავრეს არ ანვითარებენ;
4. მექანიკური სიმძლავრე იცვლება წრფივად და რეგულირების დახრილობისაგან დამოუკიდებლად;
5. ელექტრული სიმძლავრე იცვლება ნახტომისებრად.

განხილული იქნა მბრუნავი მასების მოძრაობის განტოლება, რომლიც გამოსადეგია სისტემის ეკვივალენტური გენერატორისათვის. განსაზღვრული იქნა ამ განტოლებების ფორმა ფარდობითი ერთეულებისთვის.

$$2H \frac{d\bar{n}}{dt} = \frac{\bar{P}_m - \bar{P}_e}{1 + \bar{n}} \quad (3.1)$$

\bar{n} = გენერატორის როტორის სრიალი (ფე),

\bar{P}_m = სისტემის გენერატორების ჯამური მექანიკური სიმძლავრე 100 მგვა ბაზისური სიმძლავრის მიმართ (ფე),

\bar{P}_e = სისტემის ჯამური ელექტრული (დატვირთვის და დანაკარგების) სიმძლავრე იმავე ბაზისური სიმძლავრის (ფე) მიმართ,

H = სისტემის ეკვივალენტური გენერატორის ინერციის მიდმივა (წმ).

(3.1) დან

$$\bar{n} = \sqrt{\frac{1}{H} \int (\Delta \bar{P}_m - \Delta \bar{P}_e) dt + 1} - 1 \quad (3.2)$$

დაშვებების საფუძველზე:

$$\bar{n} = \sqrt{\frac{1}{H} \left(\frac{\bar{V}_{lm} \cdot t^2}{2} - \Delta \bar{P}_e \cdot t \right) + 1} - 1 \quad (3.3)$$

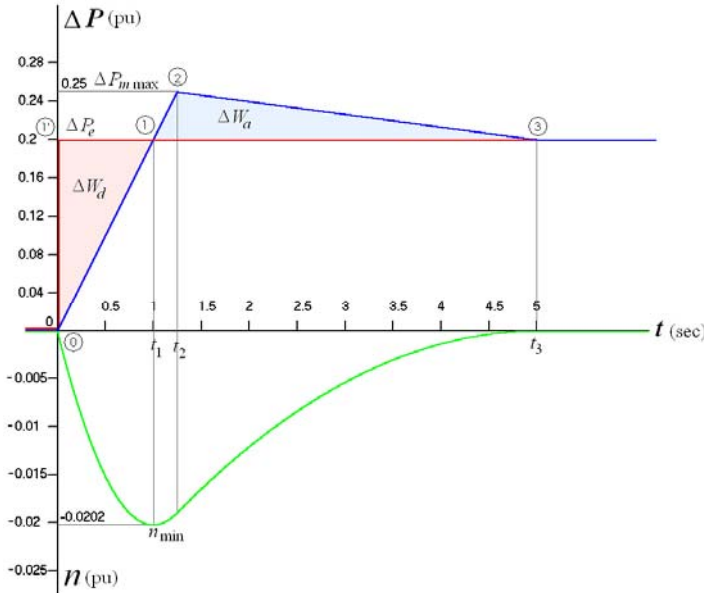
აქ $\Delta \bar{P}_m = \bar{V}_{lm} \cdot t$ - სისტემის გენერატორების ჯამური მექანიკური სიმძლავრის ფარდობითო ზრდაა დროში 100 მგვა ბაზისური სიმძლავრის მიმართ, \bar{V}_{lm} მისი ზრდის სიჩქარე, $\Delta \bar{P}_e$ - სისტემის ჯამური ელექტრული სიმძლავრის ფარდობითო ნაზრდია იმავე ბაზისური სიმძლავრის მიმართ.

(3.3) ფორმულაში \bar{V}_{lm} და $\Delta \bar{P}_e$ დადებითია სიმძლავრის დეფიციტის დროს, ხოლო უარყოფითია ნაჭარბის შემთხვევაში.

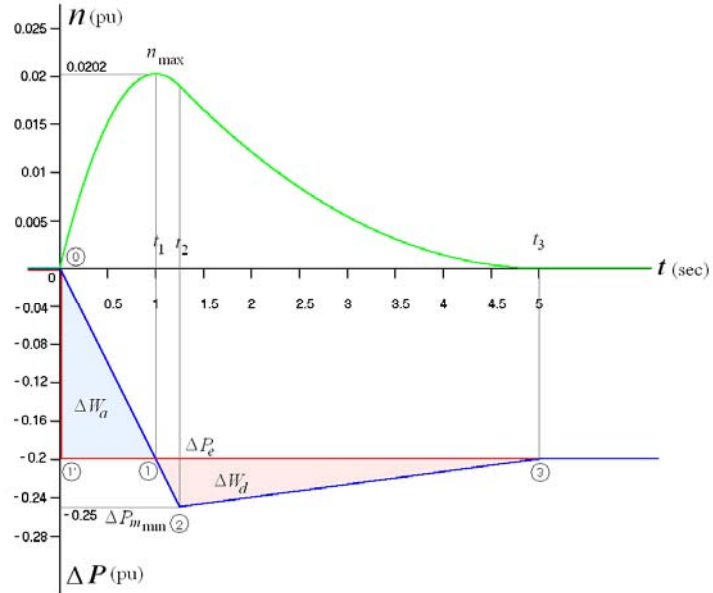
ნაპოვნი იქნა სისტემაში წარმოქმნილი $\Delta \bar{P}_e$ -ს ტოლი სიმძლავრის უბალანსობის დროს, ამ უბალანსობის შემცირების ისეთი მინიმალური საჭირო სიჩქარე \bar{V}_{lm} , რომელიც უზრუნველყოფს გენერატორების მიერ სისტემის სრიალის შენარჩუნებას $[-\bar{n}_{krit\ min} = -\bar{n}_{krit}; \bar{n}_{max} = +\bar{n}_{krit}]$ ზღვრებში:

$$\bar{V}_{1m} = \frac{\Delta \bar{P}_e^2}{2H[1 - (1 + \bar{n}_{krit})^2]} \quad (3.4)$$

სადაც მოცემულ დასაშვებ სრიალს მინუს ნიშანი აქვს დეფიციტის (ნახ 4) შემთხვევაში, პლუსი – ნაჭარბის დროს (ნახ 5).



ნახ 4



ნახ 5

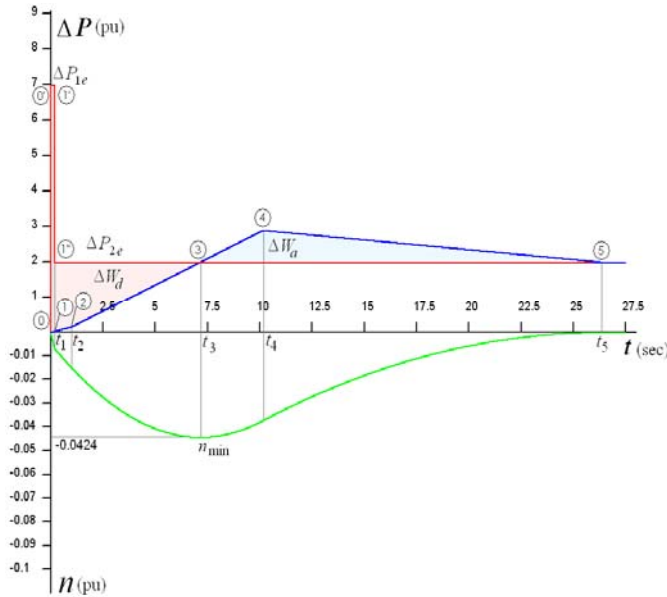
აღნიშნული მიდგომით, მიღებული იქნა სისხირის ცვლილების კანონზომიერება სიმძლავრის დეფიციტის/ნაჭარბის შემცირების შემთხვევაში სისტემის გენერატორების მექანიკური სიმძლავრის ზრდის/შემცირების და დატვირთვების/გენერაციის ნაწილის გამორთვის დროს, რისთვისაც დამატებით დაშვებული იქნა:

- სიმძლავრის უბალანსობის წარმოქმნიდან 1 წმ-ის განმავლობაში სისტემის მექანიკური სიმძლავრის ზრდის/შემცირების სიჩქარე მაქსიმალურის 1/2-ია. 1 წმ-ის შემდგომ კი აღწევს სრულ სიჩქარეს;

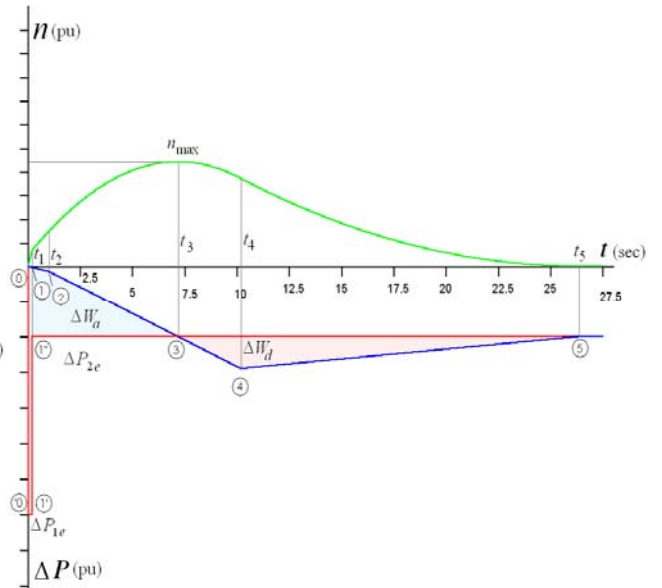
- სიმძლავრის უბალანსობის წარმოქმნიდან 0.2 წმ-ში ხდება დატვირთვის/გენერაციის გამორთვა;

- გარდამავალი პროცესი დაყოფილია ხუთ სახასიათო წერტილად: 0 – უბალანსობის წარმოქმნა; 1 – დატვირთვის/გენერაციის გამორთვა; 2 – მექანიკური სიმძლავრე იზრდება/მცირდება მაქსიმალური სიჩქარით; 3 – მექანიკური სიმძლავრე ელექტრულის ტოლი ხდება; 4 – მექანიკური

სიმძლავრე აღწევს თავის მაქსიმუმს/მინიმუმს; 5 – მექანიკური სიმძლავრე კვლავ ელექტრულის ტოლი ხდება.



ნახ 6



ნახ 7

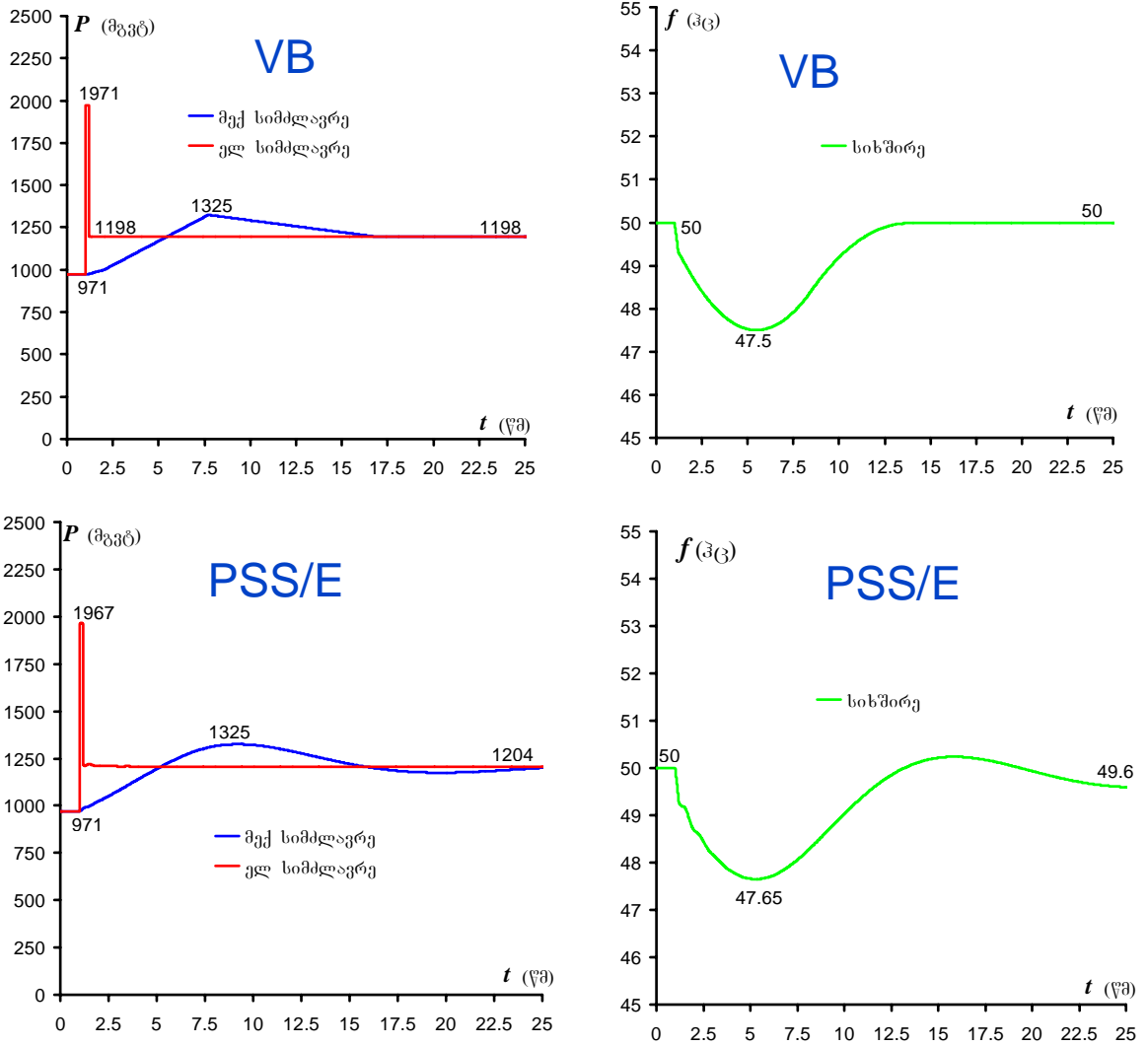
გადაწვევტილი იქნა ამოცანები:

1. გამოსართავი ტვირთის სიდიდის დადგენა, თუ ცნობილია მინიმალური/მაქსიმალური დასაშვები ბრუნთა (სიხშირე) რიცხვი, დეფიციტის/ნაჭარბის სიდიდე, მექანიკური სიმძლავრის ზრდის სიჩქარე, ავარიის მომენტიდან ტვირთის მოხსნის დაყოვნების დრო t_1 ;

2. ვიპოვოთ ავარიის მომენტიდან ტვირთის მოხსნის დაყოვნების დრო t_1 , თუ ცნობილია მინიმალური დასაშვები ბრუნთა რიცხვი, დეფიციტის სიდიდე, მექანიკური სიმძლავრის ზრდის სიჩქარე, გამოსართავი ტვირთის სიდიდე.

ეს ამოცანები გადაწყდა როგორც გენერატორების როგორც თანაბარი დატვირთულობისას, ასევე არათანაბარი დატვირთულობის შემთხვევაში

შედარებული იქნა აღნიშნული მიდგომითა და PSS/E-თი მიღებული მოდელების შედეგები. განსხვავება საინჟინრო გაანგარიშებისათვის დასაშვებ ფარგლებშია (ნახ 8).



ნახ 8

ნაშრომში შემუშავებული მეთოდის საფუძველზე Visual Basic – ში დაწერილი პროგრამით (VB) და PSSE-თი (PSS/E) მიღებული სიმძლავრებისა და სიხშირეების ცვლილების მრუდები

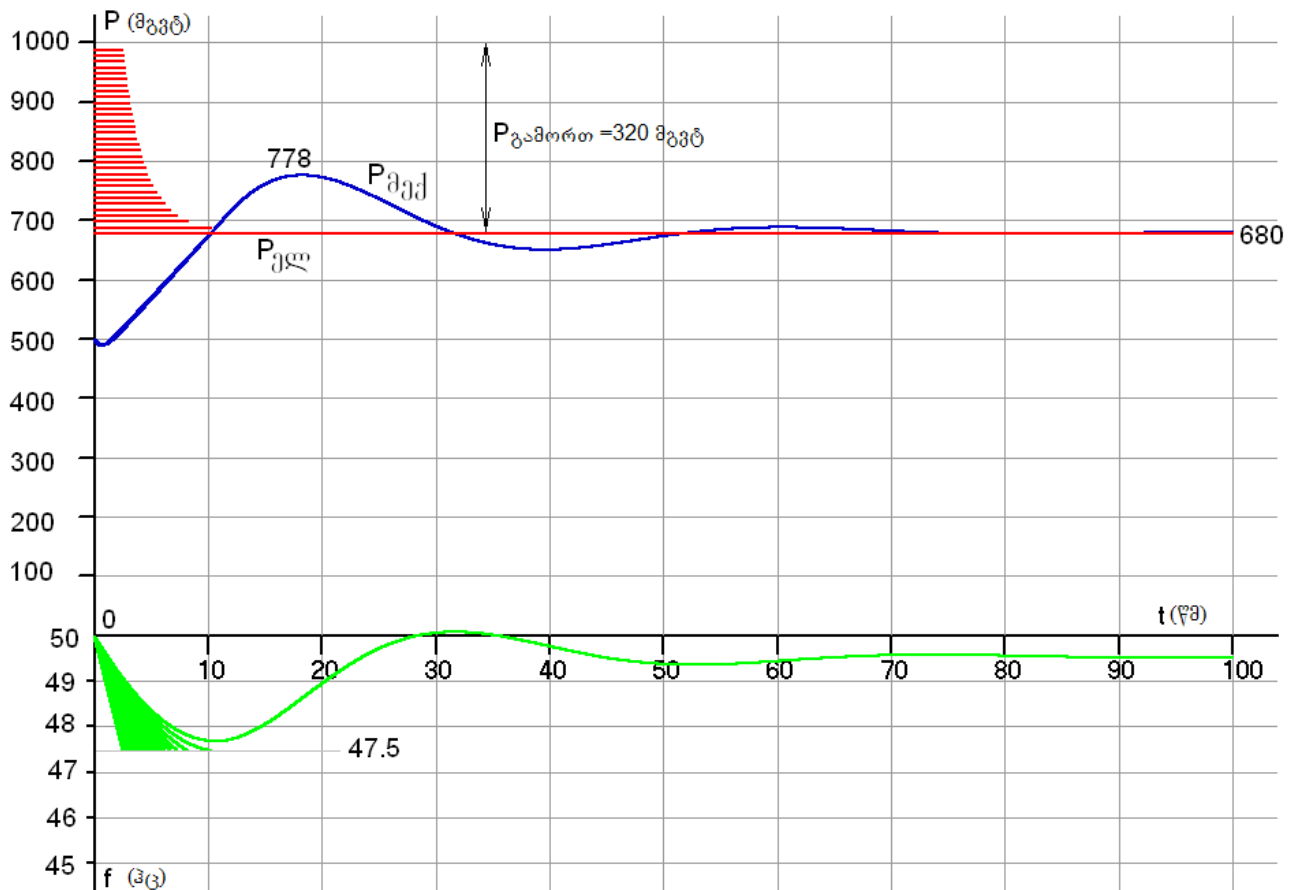
თავი IV

სიმძლავრის უბალანსობის ლიკვიდაციის მოდელირება იტერაციული მეთოდით

განხილული იქნა აგრეგატის “გენერატორი – ტურბინა სინქარის რეგულატორი“ – მოძრაობის განტოლების ამოხსნა რიცხვითი მეთოდის საფუძველზე. მთელი სისტემა წარმოდგენილი იქნა ერთი ეკვივალენტური აგრეგატით. მოდელირებული იქნა გარდამავალი პროცესები ამ სისტემაში დეფიციტის წარმოქმნისას. ზემოაღნიშნული, ცნობილი რიცხვითი მეთოდის საფუძველზე, შემუშავებული იქნა სიმძლავრის უბალანსობის ლიკვიდაციის ე.წ. “იტერაციული მეთოდი”. მისი არსი შემდეგში მდგომარეობს: რადგან, ზოგადად, სიმძლავრის დადებით ნაზრდს (ნაჭარბს) შეესაბამება სიხშირის ზრდა, ხოლო უარყოფითს (დეფიციტს) – სიხშირის შემცირება, ამიტომ ნაბიჯ-ნაბიჯ მიახლოებით, სასურველი სიზუსტით, შესაძლებელია ნაპოვნი იქნას სისტემაში წარმოქმნილი სიმძლავრის უბალანსობის სიდიდე, ან მისი ცვლილების ისეთი ხასიათი, რომ გარდამავალ პროცესში სიხშირის მნიშვნელობა არ გახდეს დასაშვებზე ნაკლები ან მეტი. დეფიციტის შემთხვევაში, პირველ იტერაციაზე დაშვებული უნდა იქნას, რომ გამოსართავი ტვირთების რაოდენობაა 0 მგვტ, სიხშირის სიდიდე ნაკლები აღმოჩნდა დასაშვებ სიხშირეზე, მაშინ პროგრამა დაბრუნებული უნდა იქნას მის დასაწყისში და საწყისი ელექტრული სიდიდის ნახტომი უნდა შემცირდა ε მგვტ სიდიდით, რაც წარმოადგენს დასაშვებ სიზუსტეს. პროგრამა კვლავ უნდა იქნას გაშვებული და კვლავ უნდა იქნას შემოწმებული სიხშირის სიდიდის მის დასაშვებ მნიშვნელობაზე ნაკლებობის პირობა. ვთქვათ k იტერაციის შემდეგ შესრულდა იგი. ე.ი. უნდა გამორთული იქნას $k\varepsilon$ მგვტ სიდიდის დატვირთვა.

ნახ 8-ზე მოყვანილია შემთხვევა როდესაც 500 მგვტ სიმძლავრით მომუშავე, 20 მგვტ/წმ მექანიკური სიმძლავრის ცვლილების უნარის მქონე

ეკვივალენტურ გენერატორზე ადგილი აქვს 500 მგვტ სიმძლავრის დეფიციტს. სიზუსტე 10 მგვტ-ია. როგორც ნახაზიდან ჩანს, საჭირო გახდა $k = 32$ იტერაცია, ანუ საწყისი დეფიციტის შემცირება საჭიროა სიდიდით $k\varepsilon = 32 \cdot 10 = 320$ მგვტ სიდიდით. ანუ საჭიროა ამ სიდიდის დატვირთვის გამორთვა. აღნიშნული იქნა, რომ ანალოგიური მიდგომით შეიძლება დადგენილი იქნას გამოსართავი გენერაციის რაოდენობა, სისტემაში სიმძლავრის ნაჭარბის წარმოქმნისას. აღნიშნული მიდგომით დაწერილი პროგრამის SCADA-ში ინტეგრირების შედეგად, სიმძლავრის უბალანსობის აღმოფხვრის მხრივ იძლევა საუკეთესო შედეგს.



ნახ 9

შეიძლება განხორციელებული იქნეს სიტემაში გარდამავალი რეჟიმების მოდელირება. “იტერაციული მეთოდი” შეიძლება გამოყენებული იქნას პროგრამებისთვისაც PSS/E, ETAP, PSLF.

თავი V

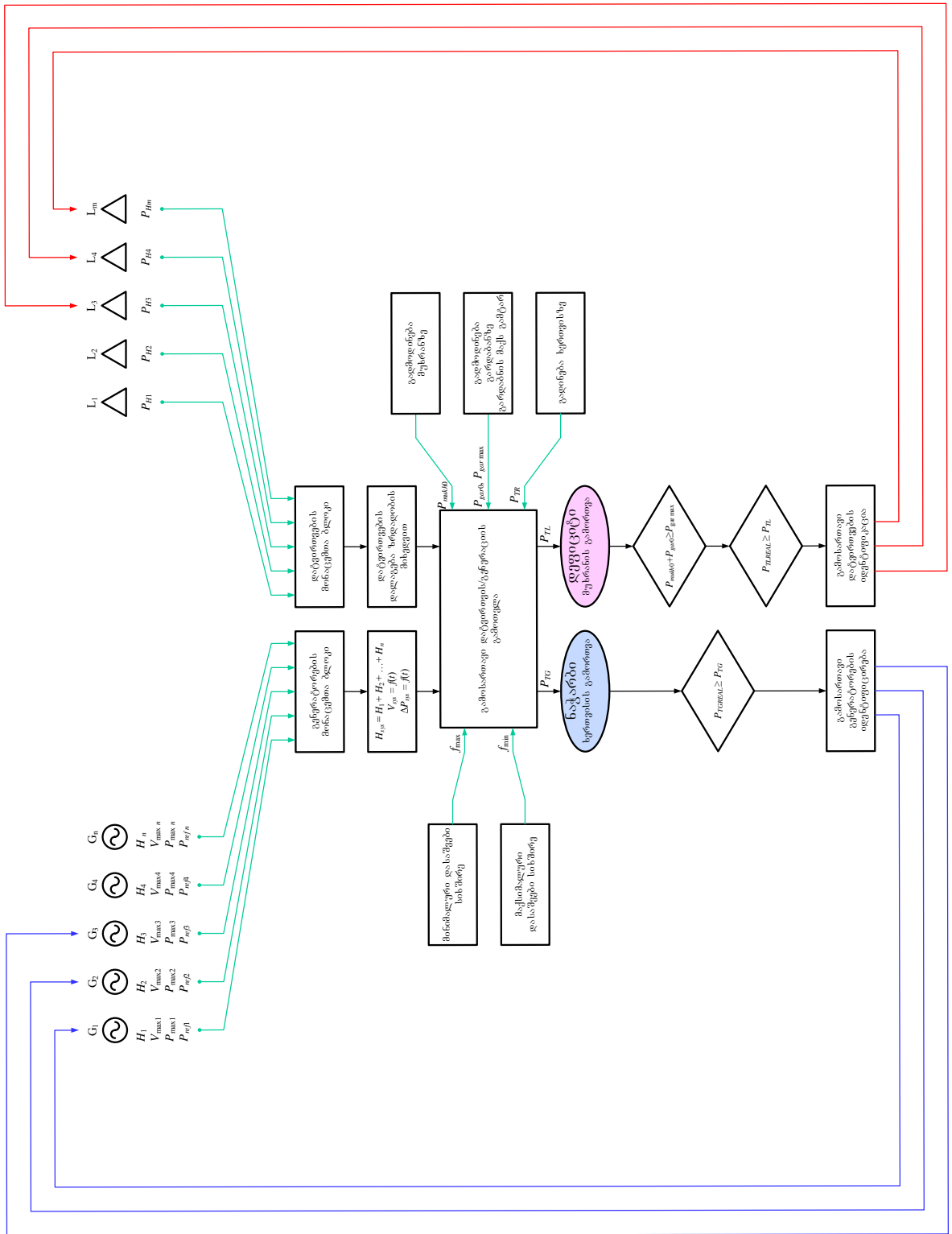
სისტემის მართვისა და მონაცემების შეგროვების პროგრამის SCADA ავარიული რეჟიმების მართვის მოდული

განხილული იქნა მართვისა და მონაცემების შეგროვების სისტემის SCADA (supervisory control and data acquisition) ფუნქციები:

- მნიშვნელოვანი ინფორმაციის მიმოცვლა;
- ღონისძიებების უზრუნველყოფა ავარიების პრევენციისთვის;
- ელექტროენერჯის წარმოების გადაცემის და განაწილების რგოლების ეფექტურად დაკავშირება, ელექტროენერჯის მაღალი ხარისხის უზრუნველყოფა.

დასახული იქნა ერთერთი კონკრეტული ამოცანა, რომლის გადაჭრა შესაძლებელია SCADA-ს საშუალებით: **საქართველოს ენერჯის სისტემაში სიმძლავრის დიდი დეფიციტის ან დიდი ნაჭარბის წარმოქმნის დროს სათანადო სასისტემო ავტომატიკის განხორციელება.** საკუთრივ SCADA-ს არ გააჩნია სასისტემო ავტომატიკის ფუნქცია, იგი განკუთვნილია ელექტრული სისტემის ელემენტებისა და მთლიანად რეჟიმის მონაცემების შეგროვებისა და სამართავი სიგნალების გადაცემისათვის. ამიტომ ავარიის საწიმააღმდეგო ავტომატიკის შესაქმნელად, აღნიშნული იქნა, რომ საჭიროა ცალკე კომპიუტერი (ვთქვათ CA), რომელიც დაკავშირებული იქნება SCADA-ს სერვერთან.

კომპიუტერისათვის შექმნილი იქნა SCADA-ს სასისტემო ავტომატიკის ლოგიკით მომუშავე პროგრამა. შემუშავებული იქნა სქემა, რომლითაც ამ პროგრამამ უნდა იმუშაოს ავარიულ სიმძლავრის უბალანსობის ლიკვიდაციისათვის (ნახ 9).



ნახ 10

SCADA-ს ავარიული რეჟიმების მართვის მოდულის მოქმედების სქემა

სიმძლავრის დეფიციტით გამოწვეული ავარიული სიტუაციის პრევენცია. ჩართული დატვირთვების შესახებ ინფორმაცია შედის დატვირთვების მონაცემთა ბლოკში ინფორმაციის დამუშავების შემდეგ, ხდება ამ დატვირთვების დალაგება ზრდადობის მიხედვით, ამავე დროს, SCADA-ში შედის ინფორმაცია აზერბაიჯანთან დამაკავშირებელი 500 კვ ეგს მუხრანის შესახებ. ეგს მუხრანის გამორთვის შემთხვევაში, შემოწმებული იქნება პირობა: მეტია თუ არა ავარიამდელი გადმოდინება აზერბაიჯანიდან (მუხრანზე გადმოდინებას დამატებული გარდაბანზე გადმოდინება) ეგს გარდაბნის მაქსიმალურ გამტარუნარიანობაზე, თუ კი, მაშინ დადგენილი იქნება სისტემაში გამოსართავი დატვირთვები, ისე რომ მათი ჯამური სიდიდე ტოლი იყოს ან ოდნავ აღემატებოდეს, მინიმალური სისწირის შეზღუდვის პირობიდან გამომდინარე, გამოთვლილ გამოსართავ სიმძლავრეს და გამორთვის სიგნალი ტელემეტრიის საშუალებით გადაცემული იქნება ზემოაღნიშნული დატვირთვების ამომრთველებისათვის.

სიმძლავრის ნაჭარბით გამოწვეული ავარიული სიტუაციის პრევენცია. თუკი საქართველოს ენერგოსისტემა იზოლირებულ რეჟიმში მუშაობს დანარჩენი სისტემებისგან და მხოლოდ თურქეთის სისტემაში გასცემს ენერგიას მუდმივი დენის ჩანართისა და ეგს მესხეთის გავლით, ამ ხაზის გამორთვის შემთხვევაში წარმოიქმნება სიმძლავრის ნაჭარბი, რომელიც სიდიდით ეგს მესხეთის ავარიამდელი გადადინების ტოლი იქნება. ამ შემთხვევაში, მაქსიმალური სისწირის შეზღუდვის პირობიდან გამომდინარე გამოთვლილი სისტემაში გამოსართავი გენერაციის სიმძლავრის მიხედვით იდენტიფიცირებულნი იქნებიან გენერატორები, რომელთა ჯამური სიმძლავრე ზემოაღნიშნულ გამოთვლილი სიმძლავრის ტოლი ან მასზე ოდნევ მეტი იქნება და გამორთვის სიგნალები გადაცემულნი იქნებიან ამ გენერატორების ამომრთველებისათვის (ეს გენერატორები ძირითადად იქნებიან ისეთები, რომელთა ინერციის მუდმივები სხვებთან შედარებით მცირეა და/ან სიჩქარის რეგულატორები არ გააჩნიათ).

დეფიციტისა და ნაჭარბის პრევენცია არსებული სქემის შემთხვევაში.
თუკი საქართველოს სისტემა იმუშავებს იზოლირებულ რეჟიმში და გამოირთვება 500 კვ ეგხ იმერეთი, მისი პარალელური 220 კვ შტო ეგხ კოლხეთი-1-ის სახით ვერ უზრუნველყოფს საჭირო სიმძლავრის გატარებას და გამოირთვება გადატვირთვისგან დაცვით. ამრიგად, საქართველოს სისტემის დასავლეთ ნაწილში ადგილი ექნება სიმძლავრის ნაჭარბს, ისე როგორც წინა შემთხვევაში აზერბაიჯანში, ხოლო აღმოსავლეთ ნაწილში კი – დეფიციტს, ისევე როგორც წინა შემთხვევაში საქართველოში. ამ დროს, აღმოსავლეთ საქართველოსთვის ეგხ იმერეთი ანალოგიური იქნება წინა შემთხვევის ეგხ მუხრანისა, ხოლო ეგხ კოლხიდა-1 – ეგხ გარდაბანისა.

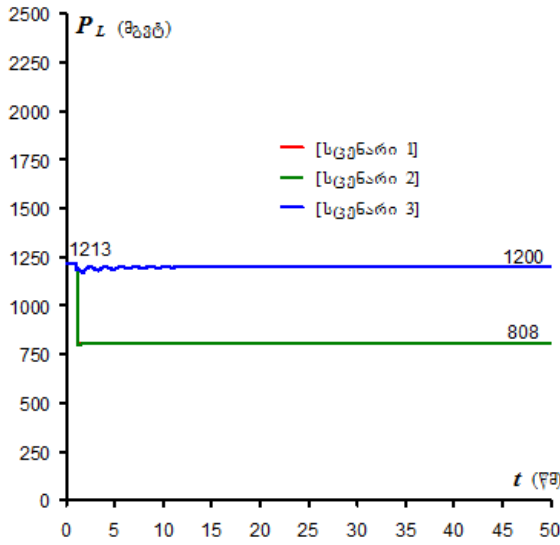
განხილული იქნა, ასევე, საქართველოს სისტემის პარალელური მუშაობა სხვა მეზობელ სისტემებთან. დამუშავებული იქნა ლოგიკა SCADA-ს მიერ გარდამავალი პროცესების სცენარების მართვისთვის - გაერთიანებული სისტემის გაყოფის და მის ნაწილებში სიმძლავრის უბალანსობის წარმოქმნის პრევენციის მიზნით. განხილული, შედარებული და გაანალიზებული იქნა სამი სცენარი:

სცენარი 1. როდესაც კავშირის ერთი შტოს გამორთვის შედეგად გამოირთვება მეორეც და სისტემები გაიყოფა;

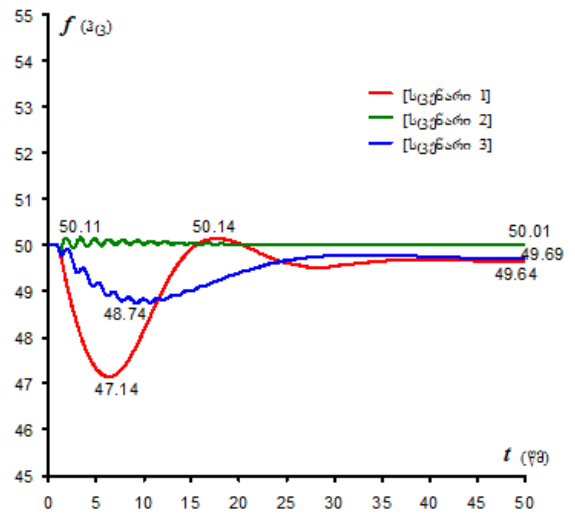
სცენარი 2. როდესაც კავშირის ერთი შტოს გამორთვის შემდეგ გამცემ სისტემაში ავტომატიკა გამორთავს გენერაციის ნაწილს, მიმდებში სისტემაში კი - იგვე სიდიდის დატვირთვას. გაერთიანებული სისტემის მუშაობა შენარჩუნებულია.

სცენარი 3. კავშირის ერთი შტოს გამორთვის შემდეგ გამცემ სისტემაში ავტომატიკა გამორთავს გენერაციის ნაწილს, მუშაობაში მყოფი გენერატორების სიჩქარის რეგულატორებს კი გამოიყვანს მუშაობიდან. გაერთიანებული სისტემის მუშაობა შენარჩუნებულია.

დადგენილი იქნა, რომ ოპტიმალურია ამ სცენარებიდან 3-ე. ამ შემთხვევაში სისშირეც დასაშვებ ფარგლებში რჩება (ნახ 11) და რაც მთავარია, შენარჩუნებულია გაერთიანებული სისტემაში სრული დატვირთვის კვება (ნახ 12).



ნახ 11



ნახ 12

ზემოთმოყვანილი სცენარებით შეიძლება მართული იქნას მოსალოდნელი ძირითადი ავარიული სიტუაციები, არა მხოლოდ აზერბაიჯანთან, არამედ სომხეთის სისტემასთან კავშირის შემთხვევაში. უფრო მეტის, იმ შემთხვევებშიც, თუკი საქართველო-აზერბაიჯანის ან საქართველო-სომხეთის გაერთიანებული სისტემა რუსეთის სისტემასთან იქნება სინქრონულ კავშირში, ხოლო თურქეთთან – მუდმივი დენის ჩანართით.

დასკვნა:

1. დადგენილი იქნა და ემპირული სახე მიეცა სიხშირის ცვლილების ხასიათს სიმძლავრის დეფიციტის ან ნაჭარბის წარმოქმნისას;
2. ნაპოვნი იქნა სისტემის მექანიკური სიმძლავრის ცვლილების ის კანონზომიერება, რომელიც უზრუნველყოფს სიმძლავრის უბალანსობის წარმოქმნისას სიხშირის სასურველ ცვლილებას;
3. დადგენილი იქნა სისტემის სიხშირის ანალიზური დამოკიდებულება წარმოქმნილი სიმძლავრის დეფიციტსა ან ნაჭარბზე, რომელიც საშუალებას იძლევა, განსაზღვრული იქნას გამოსართავი დატვირთვისა ან გენერაციის სიდიდე;
4. Visual Basic-ის პროგრამულ ენაზე შექმნილი სიმძლავრის უბალანსობის ლიკვიდაციის რიცხვითი მოდელი შეიძლება ინტეგრირებული იქნას როგორც SCADA-ში, ასევე საინჟინრო მოდელირების პროგრამებში;
5. SCADA-სთვის შეიქმნილი იქნა მოდული, რომელიც ასრულებს სასისტემო ავტომატიკის ფუნქციებს, სისტემაში წარმოქმნილი სიმძლავრის უბალანსობის დროს;
6. დადგენილი იქნა სიმძლავრის უბალანსობის ლიკვიდაციისთვის დატვირთვების/გენერაციის გამორთვისა და მბრუნავი რეზერვის მობილიზების ოპტიმალური პირობები;
7. ნაშრომში წარმოდგენილი თეორიული დასკვნები და პრაქტიკული ღონისძიებები გამოსადეგია როგორც იზოლირებულად მომუშავე სისტემისათვის, ასევე ორი ან მეტი სისტემის გაერთიანების შემთხვევაში.

გამოქვეყნებული ლიტერატურა

1. საქართველოს ენერგოსისტემაში აქტიური სიმძლავრის მბრუნავი რეზერვის შესახებ, ა. კოხტაშვილი, მ. რუხვაძე “ენერჯია”, №2 (48), 2008;
2. ენერგოსისტემაში უეცრად წარმოქმნილი აქტიური სიმძლავრის დეფიციტის მოხსნის პრობლემა, ა. კოხტაშვილი, ჟურნალი “ენერჯია”, №1 (49), 2009;
3. საქართველოს ენერგოსისტემაში უეცრად წარმოქმნილი აქტიური სიმძლავრის ნაჭარბის მოხსნის პრობლემა, ჟურნალი “ენერჯია”, №2 (50), 2009;
4. Liquidation of Suddenly Arisen Deficit and Surplus of Active Power, A. Kokhtashvili, Energy, 2(54), 2010;
5. SCADA-ს მიერ გარდამავალი პროცესების მართვის ალტერნატიული სცენარების ანალიზი პარალელურად მომუშავე ორ სისტემას შორის ძირითადი კავშირის ხაზის გამორთვისას, საქართველოსა და აზერბაიჯანის სისტემების მაგალითზე, 1(57), ჟურნალი “ენერჯია”, 2011

Abstract

In nearest perspective, Georgian Power System will be connected with Power Systems of Azerbaijan and Turkey, in range of the project "Power-Bridge", in addition, there will be built big amount of Hydro Power Plants in Georgian System. By one side, this will increase stability and availability rates of the system, but in other hand, it will form a risk of arising of power unbalance in Georgian System. The problem is following: In case of outage of 500 kV OHL "Mukhrani" connecting Power Systems of Azerbaijan and Georgia, its parallel branch 330 kV OHL "Gardabani" will be unable to provide pre fault power transit, thus, it will be tripped by protection from overload, as long as Georgian System will be connected with Turkish one by Back-to-Back Station, last mentioned System will not be participate in processes developed in Georgian System and as result, there will be formed a big deficit of power – by value equal to pre fault inflow power from Azerbaijan. By action of prime movers of operating generators, it will be impossible sudden increasing of system mechanical power, so generators will be decelerating and system frequency will be decreasing intensively and in case of non-use of measures of liquidation of power deficit, this process may be ended by system collapse. The opposite situation will have place in case of outage of 400 kV OHL "Meskheti" connecting Power Systems of Georgia and Turkey. There will be formed a big surplus of power – by value equal to pre fault outflow power from Georgia to Turkey. By action of prime movers of operating generators, it will be impossible the sudden reduction of system mechanical power, so generators will be accelerating, system frequency will be increasing intensively and in case of non-use of measures of liquidation of power surplus, this process may be ended by system collapse or stability loss. So, this work is devoted to above problem and alternatives of its decision.

It is determined the empirical and analytical dependences between power balance and frequency, in this work. It's obtained such law/speed of liquidation of power unbalance which allow to remain the frequency in desired ranges for any composition of power system.

The work consists from introduction, four chapter of main text, with experimental part, analytical part and conclusions. In the end of work there is an appendix.

In chapter I, with software PSS/E (Power System Simulator for Engineering), for various composition of power system, it is obtained the empirical dependence between system frequency, total inertia constants of operating generator and power unbalance. It is built the appropriate surface.

In chapter II, by basing on an experience of big amount of done calculations, in case of liquidation of arisen power unbalance, the frequency curve may be replaced with sum of two exponential function. So, in this chapter is developed mathematical model which allows for a system with any total inertia constant and for any power unbalance arisen in this system, obtaining of power unbalance liquidation law, which corresponds to a desired time response of system frequency.

In chapter III, basing on some presumptions, it's developed a mathematical model which allow to determine an analytical dependence between difference of system active and reactive power and system frequency. The presumptions are following:

- The system is represented by a single equivalent generator;
- Frequency of all generators are changing identically and in per units is equal to speed deviation of the equivalent generator, oscillations between generators are neglected;
- Mechanical power changing have a linear character, independently from regulation droop;
- Electrical power changing has a step character.

In Visual Basic it is developed a program. This program by considering any system generator composition and mechanical power increasing capability, in case of any amount of arisen power deficit and surplus, calculates an amount of loads power and generators power/inertia for tripping, so, that in transients the system frequency remains in desired ranges.

In chapter 4, based on a mathematic model of a system equivalent generator, turbine and speed governor, it is developed and considered an iterative approach of liquidation of power unbalance. This approach, in case of integration with SCADA, can give the best results of accordance by mean of liquidation of power unbalance

In chapter 5 it is developed a control module of SCADA, for system control in case of arising power deficit or surplus. There is also developed action schema of this module. The action will be based on these mathematical models and approaches developed in above three chapters. There is discussed and modeled by PSS/E three alternative scenarios of transients arisen in case of outage 500 kV OHL “Mukhrani” connecting Power Systems of Georgia and Azerbaijan. On base of done analyze it is identified the best scenario from these three.