

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

გივი შოვნაძე

ელექტრულ სისტემაში ელექტრული ენერჯის დამაგროვებლების გამოყენების პერსპექტივა

წარდგენილია დოქტორის აკადემიური ხარისხის მოსაპოვებლად

სადოქტორო პროგრამა: "ენერჯეტიკა და ელექტროინჟინერია"

შიფრი: 0405

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

თბილისი, 0175, საქართველო

ივლისი, 2019 წ.

საავტორო უფლება © 2019 წელი, გივი შოვნაძე

თბილისი

2019 წელი

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი
ენერგეტიკისა და ტელეკომუნიკაციის ფაკულტეტი

ჩვენ, ქვემოთ ხელისმომწერი ვადასტურებთ, რომ გავცანით გივი შოვნაძის მიერ შესრულებულ სადისერტაციო ნაშრომს დასახელებით: „ელექტრულ სისტემაში ელექტრული ენერჯის დამაგროვებლების გამოყენების პერსპექტივა“ და ვაძლევთ რეკომენდაციას საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის ენერგეტიკისა და ტელეკომუნიკაციის ფაკულტეტის სადისერტაციო საბჭოში მის განხილვას დოქტორის აკადემიური ხარისხის მოსაპოვებლად.

_____ , 2019 წელი

ხელმძღვანელი: _____ სრული პროფესორი მ.რუხვაძე

რეცენზენტი: _____

რეცენზენტი: _____

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

2019

ავტორი: გივი შოვინაძე

თემის დასახელება: „ელექტრულ სისტემაში ელექტრული ენერჯის დამაგროვებლების გამოყენების პერსპექტივა“

ფაკულტეტი: ენერჯეტიკისა და ტელეკომუნიკაციის

ხარისხი: აკადემიური დოქტორი

სხდომა ჩატარდა: _____, 2019 წ.

ინდივიდუალური პიროვნებების ან ინსტიტუტების მიერ შემომოყვანილი დასახელების დისერტაციის გაცნობის მიზნით მოთხოვნის შემთხვევაში მისი არაკომერციული მიზნებით კოპირებისა და გავრცელების უფლება მინიჭებული აქვს საქართველოს ტექნიკურ უნივერსიტეტს.

ავტორის ხელმოწერა

ავტორი ინარჩუნებს დანარჩენ საგამომცემლო უფლებებს და არც მთლიანი ნაშრომის და არც მისი ცალკეული კომპონენტების გადაბეჭდვა ან სხვა რაიმე მეთოდით რეპროდუქცია დაუშვებელია ავტორის წერილობითი ნებართვის გარეშე.

ავტორი ირწმუნება, რომ ნაშრომში გამოყენებული საავტორო უფლებებით დაცულ მასალებზე მიღებულია შესაბამისი ნებართვა (გარდა იმ მცირე ზომის ციტატებისა, რომლებიც მოითხოვენ მხოლოდ სპეციფიურ მიმართებას ლიტერატურის ციტირებაში, როგორც ეს მიღებულია სამეცნიერო ნაშრომების შესრულებისას) და ყველა მათგანზე იღებს პასუხისმგებლობას.

რეზიუმე

საქართველოს ელექტრულ სისტემაში ბოლო წლების სტატისტიკიდან გამომდინარე ადგილი აქვს ელექტრული ენერჯის მოხმარების ზრდას ამავდროულად გენერაციის ობიექტების მატებას, გარდა ამისა მიმდინარეობს მეზობელ სისტემებთან სისტემათაშორისო ხაზების რეაბილიტაცია და ასევე დამატებით ახალი სისტემათაშორისო ხაზების მშენებლობა. ეს ნიშნავს, რომ შესაძლებელი იქნება მეზობელ სისტემებთან გაიზარდოს როგორც სიმძლავრის იმპორტი ასევე ექსპორტი, ასევე შესაძლებელი იქნება მეზობელ ქვეყნებს შორის საქართველოს ელექტრული სისტემა გამოყენებული იქნას როგორც სატრანზიტო. ამ პროცესების პარალელურად სისტემის საიმედოობის გასაზრდელად საჭიროა გატარდეს შესაბამისი ღონისძიებები, რომ აცილებული იყოს სისტემის დინამიკური მდგრადობის დარღვევა.

ნაშრომის I თავი მოიცავს ელექტრული ენერჯის დამაგროვებლის გამოყენებას ელექტრული სისტემის საიმედო მუშაობის თვალსაზრისით. ამ თავში განხილული და ერთმანეთთან შედარებულია სხვადასხვა ტიპის ელექტრული ენერჯის დამაგროვებლები, მათი მუშაობის პრინციპი, დადებითი და უარყოფითი მხარეები. ასევე განხილულია სტატიკური კომპენსატორის დანიშნულება, მისი მუშაობის რეჟიმები, დადებითი და უარყოფითი მხარეები სხვა ასეთი ტიპის მოწყობილობასთან.

ნაშრომის II თავი მოიცავს დინამიური მდგრადობის ანალიზს საქართველოს ელექტრულ სისტემაში ელექტრული ენერჯის დამაგროვებლის და სტატიკური კომპენსატორის გამოყენების გათვალისწინებით. საქართველოს ელექტრული სისტემა თავისი მცირე ინერციულობის გამო შესაძლოა გარკვეულ პირობებში აღმოჩნდეს საფრთხის წინაშე და მოხდეს დინამიკური მდგრადობის დარღვევა, განსაკუთრებით მაშინ როდესაც მეზობელ ქვეყნებთან იზოლირებულ რეჟიმში მუშაობს. აქედან გამომდინარე, საჭიროა თავიდან იქნას აცილებული სისტემის არასტაბილური მუშაობა მნიშვნელოვანი სიდიდის სიმძლავრის უბალანსობის წარმოქმნისას. ამგვარი შემთხვევა შეიძლება იყოს სისტემათაშორისო ხაზების ავარიული გამორთვა ან ყველაზე მძლავრი აგრეგატის გამორთვა ავარიულად ან მძლავრი მოხმარების გამორთვა ან ახალციხის მუდმივი დენის ჩანართით გამავალი სიმძლავრის დაბლოკვა რაიმე მიზეზით. ამგვარად საჭიროა გამოყენებული იქნას დროული ღონისძიებები სისტემის სტაბილურობის შესანარჩუნებლად. დღესდღეისობით ამ პრობლემის თავიდან ასაცილებლად გამოიყენება სიხშირის რელეების, მბრუნავი რეზერვის ან სასისტემო ავტომატიკის გამოყენება. მაგრამ ყველა ეს ღონისძიება დამოკიდებულია რაღაც პირობებზე, მაგალითად: მბრუნავი რეზერვის ამოქმედებას ჭირდება გარკვეული დრო სიჩქარის რეგულატორის დროის მუდმივობის და გენერატორის სტატიზმის კოეფიციენტის გამო, ხოლო სიხშირის რელეები ან სასისტემო ავტომატიკა არ მოვა მოქმედებაში სანამ სიხშირე გარკვეულ

სიდიდემდე არ შემცირდება/გაიზრდება. ზოგიერთ შემთხვევაში როდესაც სერიოზული უბალანსობა წარმოიქმნება სიხშირე რამოდენიმე წამში თითქმის მყისიერად აღწევს არასასურველ სიდიდეს რაც თავის მხრივ იწვევს გენერაციის/დატვირთვის ობიექტის გამორთვას რაც იმას ნიშნავს რომ დინამიკური მდგრადობა დაირღვევა. აქედან გამომდინარე დინამიკური მდგრადობის შესანარჩუნებლად საჭიროა მყისიერი რეაქცია ნებისმიერი სერიოზული სიდიდის უბალანსობის დროს. დინამიკური მდგრადობის შენარჩუნების ეფექტიან საშუალებას წარმოადგენს სისტემაში ელექტრული ენერჯის დამაგროვებლის ან სტატიკური კომპენსატორის გამოყენება. იმ შემთხვევაში როდესაც მოხდება რაიმე სახის სერიოზული უბალანსობა ეს იქნება გენერაციის ობიექტის ავარიული გამორთვა ან მძლავრი მოხმარების გამორთვა ან და მაღალი ძაბვის ელექტრო გადაძვება ხაზზე მოკლედ შერთვა და ხაზის ამორთვა ამ დროს საჭიროებისდა მიხედვით ენერჯის დამაგროვებელი ან სტატიკური კომპენსატორი მიიღებს ან გასცემს აქტიურ/რეაქტიულ სიმძლავრეს მყისიერად და სისტემის დინამიკური მდგრადობა შენარჩუნებული იქნება და საშუალებას აძლევს გენერაციის ობიექტებს თავის თავზე აიღოს იმ სიმძლავრის დეფიციტი/სიჭარბე რის გამოც შეიქმნა უბალანსობა იმ დროის განმავლობაში სანამ ენერჯის დამაგროვებელი გენერირებს/მოიხმარს სიმძლავრეს.

ნაშრომის III თავი მოიცავს სტატიკური მდგრადობის ანალიზს საქართველოს ელექტრულ სისტემაში. ელექტრული ენერჯის როგორც გამომუშავება ასევე მოხმარება დამოკიდებულია დროის პერიოდზე, მაგალითად: ზამთრის განმავლობაში ჰიდრო ელექტროსადგურების მიერ გამომუშავებული სიმძლავრე გაცილებით ნაკლებია ზაფხულის პერიოდთან განსხვავებით, ეს განპირობებულია იმით რომ ზამთრის პერიოდში წყლის მოდინება გაცილებით ნაკლებია და შესაძლებელია საჭირო გახდეს მეზობელი სისტემებიდან სიმძლავრის იმპორტი, ხოლო ზაფხულის განმავლობაში კი წყლის რაოდენობა იმდენად მეტია რომ ზოგიერთ მომენტში საჭირო ხდება წყლის ფუჭად დაღვრა, ენერჯის დამაგროვებლის გამოყენებით კი შესაძლებელია ენერჯის შენახვა და გამოყენება საჭირო მომენტში. ასევე ელექტრული ენერჯის დამაგროვებლებს მნიშვნელოვანი როლი უჭირავს განახლებადი ენერჯის წყაროების (ქარის და მზის ელექტროსადგურები) ინტეგრაციაში. ქარის გენერატორების მიერ აქტიური სიმძლავრე გამომუშავება დამოკიდებულია ქარის სიჩქარეზე, რაც იწვევს ქარის გენერატორის მიერ განვითარებული აქტიური სიმძლავრის ცვლილებას რამაც შეიძლება გამოიწვიოს ძაბვის და სიხშირის რყევები რაც არასასურველი მოვლენა არის მოხმარებისათვის. ენერჯის დამაგროვებლის გამოყენებით კი შესაძლებელია ამ პრობლემის მოგვარება. ასევე ენერჯის დამაგროვებელი საშუალებას გვაძლევს შევინახოთ განახლებადი ენერჯის მიერ გენერირებული სიმძლავრე როდესაც დატვირთვა არის დაბალი და გამოვიყენოთ საჭიროებისდა მიხედვით როცა დატვირთვა არის მაღალი.

Resume

According to statistic of last year's electrical demand and new generation course are increasing in Georgia power system, at the same time to construct new interconnection lines also to rehabilitate exist interconnections lines. Therefore, it is possible increase active power import and export with neighbor system, also Georgian power system can be use as transit system. In order to improve the system reliability in parallel in these processes appropriate measures should be taken to avoid violation of the system's dynamic sustainability.

First chapter of diploma work consist energy storage use for electrical system reliably operation. In this chapter is considered and compared different type of energy storage, the principe of operation, also advantage and disadvantage side. Also is discussed algorithm of static synchronous compensator, the regime of operation, advantage and disadvantage of other such kind of device.

Second chapter of diploma work consist dynamic stability analysis in Georgian power system with and without energy storage and static synchronous compensator. It is sometimes possible bad situation of operation in Georgian power system especially when operation isolate mode because power system is very small respectively small inertia. Therefore, it is necessary to avoid the unstable operation of the system during large power inbalance. Large power inbalance can be caused by following situation: Emergency tripping of interconnection 500 KV OHLs; Emergency tripping of internal transit OHLs; shutdown of the large power units Enguri HPP, 9th thermal unit; Nowadays it is used to prevent this problem following activities: RAS (remedial action scheme); Spinning reserve; UFLS (under frequency load shedding); but all of activities depend on some conditions, for example: Spinning reserve take some time for activate because of the time constant of speed governor and frequency droop of generator; under frequency load shedding and remedial action scheme don't activate until frequency rich certain degree. In some case when the inbalance is very large the frequency changes instantaneously, therefore to activate UFLS or RAS and shut down demand/generation, that is mean the dynamic stability do not maintain. For increased reliability power system, it is necessary instant reaction when inbalance is very large. Effective method of dynamic stability maintenance is to use energy storage and static synchronous compensator. In case when happen any kind of inbalance energy storage and static synchronous compensator instantaneously either generate or consume active/reactive power, therefore dynamic stability will be maintenance.

Third chapter of diploma work consist static stability analysis in Georgian power system. The generation and demand of electric power depend on the season, for example: During the winter period, generation of HPPs is small than during summer, because water is less in the river and in some case it is necessary import from neighbor system. The high generation of HPPs during the spring and summer when due to high water flows available in Georgian rivers and it is possible to store energy by energy storage and use during the winter. Also energy

storage use for renewable energy source (wind and solar power plants) integration. Wind generation output power is depended on the wind speed, meaning that even modest wind speed fluctuations may result in significant variation of power output from wind generation therefore it could be change voltage and frequency, which is undesirable process for demand. Energy storage power input and output can be controlled precisely and varied rapidly to offset effects from RE generation short duration variability, therefore active power of sum wind power plant and energy storage will be constant. In addition, energy storage can be used as well to store RE generation output when electricity demand is low and used when electricity demand is high.

შინაარსი

შესავალი	18
თავი 1. ელექტრული ენერჯის დამაგროვებლის დანიშნულება და სახეები.....	22
1.1. ჰიდრომააკულირებელი სადგური.....	22
1.2. მქნევარიანი ენერჯის დამაგროვებელი	24
1.3. შეკუმშული აირის ენერჯის დამაგროვებელი	27
1.4. გოგირდ-ნატრიუმიანი ბატარეა	30
1.5. ლითიუმ იონის ბატარეა	31
1.6. სტატიკური სინქრონული კომპენსატორი (STATCOM)	33
1.7. რეაქტიული სიმძლავრის კომპენსაციის განხორციელების გზები....	38
თავი 2. ელექტრული ენერჯის დამაგროვებლის გათვალისწინებით დინამიკური მდგრადობის ანალიზი	48
2.1. სტატიკური კომპენსატორის მუშაობა ავარიის საწინააღმდეგო ავტომატიკის მოქმედებისას.....	48
2.2. ახალციხის ქვესადგურში სტატიკური კომპენსატორის გამოყენების შესახებ	51
2.3. სტატიკური კომპენსატორის გამოყენება დინამიკური მდგრადობის ასამაღლებლად	55
2.4. სტატიკური სინქრონული კომპენსატორის გამოყენება ძაბვის ბიძგების კომპენსაციისათვის.....	58
2.5. ენერჯის დამაგროვებლის გავლება დინამიკურ მდგრადობაზე	62
2.6. ენერჯის დამაგროვებლის გამოყენება სიხშირის რყევების ჩასაქრობად	68
2.7. ზეგამტარული ენერჯის დამაგროვებლის გავლენა ელექტრული სისტემის მუშაობაზე.....	73
თავი 3. ელექტრული ენერჯის დამაგროვებლის გათვალისწინებით სტატიკური მდგრადობის ანალიზი.....	81

3.1 ენერგიის დამაგროვებლის (ბატარეის) გამოყენების ეფექტი ქარის ელექტროსადგურზე	81
3.2 ენერგიის დამაგროვებლის გავლენა სადგურის სტატიკურ მდგრადობაზე	90
დასკვნა.....	103
გამოყენებული ლიტერატურა	104

ცხრილების ნუსხა

ცხრილი 1. ჰიდრომაკულირებადი სადგურის ელექტრული პარამეტრები.....	24
ცხრილი 2. შეკუმშული აირის ენერჯის დამაგროვებლის ელექტრული პარამეტრები.....	29
ცხრილი 3. გოგირდ-ნატრიუმის ბატარეას ელექტრული პარამეტრები....	31
ცხრილი 4. ლითიუმ იონის ბატარეას ელექტრული პარამეტრები.....	33
ცხრილი 5. ABB ტიპის სტატიკური სინქრონული კომპენსატორის გამოყენება მსოფლიო მაშტაბით	34
ცხრილი 6. ძაბვის მნიშვნელობა ახალციხის 400 კვ სალტზე თურქეთში გაცემული სიმძლავრის სხვადასხვა სიდიდისა და კომპენსატორების სხვადასხვა რაოდენობისათვის როდესაც მესხეთის ხაზი ირთვება თურქეთის მხრიდან	53

ნახაზების ნუსხა

ნახ. 1. ჰიდროაკუმულირებადი სადგურის სქემა.....	23
ნახ. 2. მქნევარიანი ენერჯის დამაგროვებელის სქემა.....	25
ნახ. 3. მქნევარიანი ენერჯის დამაგროვებელის პრინციპიალური ელექტრული სქემა	27
ნახ. 4. შეკუმშული აირის დამაგროვებლის სტრუქტურული სქემა.....	28
ნახ. 5. გოგირდ-ნატრიუმის ბატარეას პრინციპიალური ელექტრული სქემა	30
ნახ. 6. ლითიუმ იონის ბატარეას პრინციპიალური ელექტრული სქემა	32
ნახ. 7. სტატიკური კომპენსატორის პრინციპიალური სქემა.....	33
ნახ. 8. ძაბვის ვექტორული დიაგრამა სტატკომის ინდუქტიური ხასიათის დატვირთვის დროს	35
ნახ. 9. ძაბვის ვექტორული დიაგრამა სტატკომის ტევადური ხასიათის დატვირთვის დროს	35
ნახ. 10. სტატკომის და სინქრონული კომპენსატორის შედარება	36
ნახ. 11. ჩანაცვლების სქემა სტატკომის და სტატიკური კომპენსატორის გამოყენებისას	36
ნახ. 12. ძაბვის მრუდები სტატკომის და სინქრონული კომპენსატორის გამოყენებისას	37
ნახ. 13. რეაქტიული სიმძლავრის ცვლილება სტატკომის და სინქრონული კომპენსატორის გამოყენებისას.....	38
ნახ. 14 ძაბვის მრუდები მოკლედ შერთვის დროს სტატკომის და სინქრონული კომპენსატორის გამოყენებისას	38
ნახ. 15. ელექტრული ქსელის ჩანაცვლების სქემა.....	39
ნახ. 16. ელექტრული ქსელის ჩანაცვლების სქემა.....	40

ნახ. 17. რეაქტიული სიმძლავრის გენერაცია მცირე სიდიდის ტევადობებით	41
ნახ. 18. რეაქტიული სიმძლავრის ტირისტორული რეგულირება.....	42
ნახ. 19. რეაქტორში გამავალი დენის რეგულირება ტირისტორების ანთების კუთხის ცვლილებით	43
ნახ. 20. აგზნების დენის რეგულირებით კომპენსატორის რეაქტიული სიმძლავრის ცვლილება	43
ნახ. 21. ელექტრული ქსელის ჩანაცვლების სქემა	44
ნახ. 22. ძაბვის ცვლილება დატვირთვის ამორთვის გამო	45
ნახ. 23 . δ კუთხის ცვლილება.....	46
ნახ. 24. კომპენსატორის რეაქტიული სიმძლავრის ცვლილება.....	46
ნახ. 25. ელექტრული ქსელის ჩანაცვლების სქემა	47
ნახ. 26. ბატარეის რეაქტიული სიმძლავრის ცვლილება.....	47
ნახ. 27. ძაბვის ცვლილება ე.გ.ხ იმერეთის ავარიულად ამორთვისას	49
ნახ. 28. ქსანის რეაქტორის რეაქტიული სიმძლავრე	50
ნახ. 29. ძაბვის ცვლილება სტატიკური კომპენსატორის გამოყენებისას	50
ნახ. 30. სტატიკური კომპენსატორების რეაქტიული სიმძლავრის ცვლილება.....	51
ნახ. 31. ახალციხე 500 კვ ქვესადგურის 400 კვ მხარის ჩანაცვლების სქემა....	52
ნახ. 32. ძაბვის ცვლილება ახალციხე 500 კვ ქვესადგურში 400 კვ-იან მხარეს სინქრონული კომპენსატორის გამოყენებისას	54
ნახ. 33. ძაბვის ცვლილება ახალციხე 500 კვ ქვესადგურში 400 კვ-იან მხარეს სტატკომის გამოყენებისას	54
ნახ. 34. ელექტრული ქსელის ჩანაცვლების სქემა, სტატიკური კომპენსატორის გათვალისწინებით	55
ნახ. 35. გენერატორის სრიალის ცვლილება ეგზ ამორთვის დროს	56

ნახ. 36. ელექტრული ქსელის ჩანაცვლების სქემა.....	56
ნახ. 37. სტატიკური კომპენსატორის გათვალისწინება ქსელში.....	57
ნახ. 38. სიმძლავრის მახასიათებელი კომპენსატორით და უკომპენსატოროთ.....	58
ნახ. 39. რკალური ღუმლის ელექტრულ სისტემასთან მიერთების პრინციპიალური სქემა.....	59
ნახ. 40. მეტალურგიის საწარმოს მიერ მუშაობით გამოწვეული ძაბვის ცვლილება.....	59
ნახ. 41. რუსთავი 220 კვ ქვესადგურის ცალხაზოვანი სქემა	60
ნახ. 42. ძაბვის ცვილების მრუდი რუსთავი 220 კვ ქვესადგურის 110 კვ ძაბვის მხარეს	61
ნახ. 43. ძაბვის ცვილების მრუდი რუსთავი 220 კვ ქვესადგურის 110 კვ ძაბვის მხარეს სტატკომის გამოყენებისას.....	61
ნახ. 44. ელექტრული ქსელის ჩანაცვლების სქემა.....	62
ნახ. 45. გენერატორის სრიალის ცვლილება ეგბ-ზე მოკლედ შერთვის დროს	62
ნახ. 46. დამყარებული რეჟიმის ჩანაცვლების სქემა	63
ნახ. 47. ორფაზა მოკლედ შერთვის დროს ჩანაცვლების სქემა	64
ნახ. 48. ავარიის შემდგომი ჩანაცვლების სქემა.....	65
ნახ. 49. სიმძლავრის მახასიათებელი ნორმალური, მოკლედ შერთვის და ხაზის გამორთვის შემდგომი რეჟიმებისთვის.....	66
ნახ. 50. გენერატორის სრიალის ცვლილება ბატარეით და ბატარეის გარეშე	67
ნახ. 51. აქტიური სიმძლავრის ცვლილება.....	67
ნახ. 52. ბატარეას აქტიური სიმძლავრის ცვლილება.....	68
ნახ. 53. ბატარეის რეაქტიული სიმძლავრის და ქსელის ძაბვის ცვლილება.	68

ნახ. 54. სიხშირის ნაზრდის ცვლილების მრუდი.....	70
ნახ. 55. გენერირებული ჯამური აქტიური სიმძლავრის მრუდი.....	72
ნახ. 56. თბო ბლოკის გამორთვით გამოწვეული სიხშირის ცვლილება.....	72
ნახ. 57. ელექტრული ენერჯის დამაგროვებლის მიერ აქტიური სიმძლავრის გენერირება.....	73
ნახ. 58. სიხშირე ენერჯის დამაგროვებლის გამოყენების შემთხვევაში	73
ნახ. 59. ზეგამტარული ენერჯის დამაგროვებლის გამარტივებული ელექტრული სქემა	74
ნახ. 60. საქართველოს 500 კვ-იანი სქემა	75
ნახ. 61. სიხშირის ცვლილება ეგ მუხრანის ველის გამორთვის შემდეგ	76
ნახ. 62. საქართველოს ჯამური მოხმარება	76
ნახ. 63. ენგურჰესის ერთი აგრეგატის მიერ განვითარებული სიმძლავრე ...	77
ნახ. 64. ბატარეის მიერ სიმძლავრის გაცემის მრუდი.	77
ნახ. 65. სიხშირე ელექტრული ენერჯის დამაგროვებლი გამოყენებისას.....	78
ნახ. 66. დამაგროვებლის მიერ სიმძლავრის გაცემის მრუდი	79
ნახ. 67. სიხშირის ცვლილება ბატარეით და ბატარეის გარეშე.....	79
ნახ. 68. ბატარეის და ენგურჰესის აქტიური სიმძლავრის მრუდი.....	80
ნახ. 69. დამოკიდებულება ქარის სიჩქარესა და ქარის გენერატორის მიერ გამომუშავებულ სიმძლავრეს შორის.....	81
ნახ. 70. სისტემის სიხშირის ცვლილება ქარის სიჩქარის ცვლილების გამო.	82
ნახ. 71. ქვესადგური გორის 220 კვ ჩანაცვლების სქემა	83
ნახ. 72. აქტიური სიმძლავრის ცვლილება როდესაც ენერჯის დამაგროვებელი გამორთულია.....	84

ნახ. 73. სიხშირის ცვლილება როდესაც ენერგიის დამაგროვებელი გამორთულია	84
ნახ. 74. სიხშირის ცვლილება მინიმალური დატვირთვის პერიოდში როდესაც ენერგიის დამაგროვებელი გამორთულია.....	84
ნახ. 75. ქარის გენერატორების აქტიური სიმძლავრის მრუდი	85
ნახ. 76. ენერგიის დამაგროვებლის აქტიური სიმძლავრის მრუდი.....	85
ნახ. 77. ქარის გენერატორებისა და ენერგიის დამაგროვებლის ჯამური გენერირებული სიმძლავრე.....	86
ნახ. 78. სიხშირე როდესაც ენერგიის დამაგროვებელი ჩართულია.....	86
ნახ. 79. გორი 220 კვ ქვესადგურის ჩანაცვლების სქემა	87
ნახ. 80. აქტიური სიმძლავრის ცვლილება როდესაც ენერგიის დამაგროვებელი გამორთულია.....	87
ნახ. 81. ძაბვის ცვლილება როდესაც ენერგიის დამაგროვებელი გამორთულია	88
ნახ. 82. სიხშირის ცვლილება როდესაც ენერგიის დამაგროვებელი გამორთულია	88
ნახ. 83. ქარის სადგურის აქტიური სიმძლავრის ცვლილება.....	88
ნახ. 84. ენერგიის დამაგროვებლის აქტიური სიმძლავრის ცვლილება	89
ნახ. 85. ძაბვის ცვლილება როდესაც ენერგიის დამაგროვებელი ჩართულია	89
ნახ. 86. ქარის გენერატორებისა და ენერგიის დამაგროვებლის ჯამური გენერირებული სიმძლავრე.....	90
ნახ. 87. ელექტრული ქსელის ჩანაცვლების სქემა.....	91
ნახ. 88. ელექტრო მამოძრავებელი ძალის ვექტორული დიაგრამა	92
ნახ. 89. ელექტრული ქსელის ჩანაცვლების სქემა.....	92
ნახ. 90. ელექტრული ქსელის გამარტივებული ჩანაცვლების სქემა	92

ნახ. 91. გენერატორის სიმძლავრის მახასიათებელი 1-ბატარეა გამორთულია, 2- ბატარეა ჩართულია	95
ნახ. 92. გენერატორის ელექტრო მამოძრავებელი ძალის ცვლილება 1- ბატარეა გამორთულია, 2- ბატარეა ჩართულია.....	96
ნახ. 93. გენერატორის მასინქრონიზირებელი სიმძლავრის ცვლილება 1- ბატარეა გამორთულია, 2- ბატარეა ჩართულია.....	96
ნახ. 94. გენერატორის მასინქრონიზირებელი სიმძლავრის ცვლილება.....	97
ნახ. 95. $\Delta\delta 1$ კუთხის ცვლილება არარეგულირებადი ბატარეით და ბატარეის გარეშე.....	98
ნახ. 96. ბატარეის რეგულატორის გამარტივებული ბლოკ-სქემა.....	98
ნახ. 97. $\Delta\delta$ კუთხის ცვლილება რეგულირებადი ენერჯის დამაგროვებლის გათვალისწინებით როდესაც რეგულატორის დროის მუდმივა $TR = 0.02$ და რეგულატორის გაძლიერების კოეფიციენტი $KR = 50$	100
ნახ. 98. $\Delta\delta$ კუთხის ცვლილება რეგულირებადი ენერჯის დამაგროვებლის გათვალისწინებით როდესაც რეგულატორის დროის მუდმივა $TR = 0.05$ და რეგულატორის გაძლიერების კოეფიციენტი $KR = 50$	101
ნახ. 99. $\Delta\delta$ კუთხის ცვლილება რეგულირებადი ენერჯის დამაგროვებლის გათვალისწინებით როდესაც რეგულატორის დროის მუდმივა $TR = 0.08$ და რეგულატორის გაძლიერების კოეფიციენტი $KR = 50$	101
ნახ. 100. $\Delta\delta$ კუთხის ცვლილება რეგულირებადი ენერჯის დამაგროვებლის გათვალისწინებით როდესაც რეგულატორის დროის მუდმივა $TR = 0.5$ და რეგულატორის გაძლიერების კოეფიციენტი $KR = 50$	102
ნახ. 101. $\Delta\delta$ კუთხის ცვლილება რეგულირებადი ენერჯის დამაგროვებლის გათვალისწინებით როდესაც რეგულატორის დროის მუდმივა $TR = 0.05$ და რეგულატორის გაძლიერების კოეფიციენტი $KR = 10$	102

დისერტაციაში გამოყენებული აბრევიატურები

STATCOM - Static synchronous compensator (სტატიკური სინქრონული კომპენსატორი)

საგ - სიხშირის ავტომატური განტვირთვა

მ.შ - მოკლე შერთვა

ეგბ - ელექტროგადაცემის ხაზი

HVDC – High Voltage Direct Current (მაღალი ძაბვის მუდმივი დენი)

PSS/E – Power System Simulation for Engineering (ელექტრული სისტემის საინჟინრო მოდელირების პროგრამა)

SCADA – Supervisory Control and Data Acquisition (დისპეტჩერული მართვა და მონაცემების შეგროვება)

ასა - ავარიის საწინააღმდეგო ავტომატიკა

DigSILENT PowerFactory - (ელექტრული სისტემის საინჟინრო მოდელირების პროგრამა)

შესავალი

თემის აქტუალურობა. საქართველოს ენერგოსისტემაში არსებობს ისეთი ავარიები, რომელთაც შეუძლიათ გამოიწვიონ სისტემის მდგრადობის დარღვევა. სწორედ ასეთ დაზიანებად შეიძლება განვიხილოთ რომელიმე სისტემათაშორისი გადაცემის ხაზის გამორთვა ან 500 კვ-იანი შიდა სატრანზიტო ხაზის გამორთვა რაიმე მიზეზით, ასევე მძლავრი გენერატორის ან მოხმარების გამორთვა. გარდამავალ პროცესს, როდესაც ხდება მნიშვნელოვანი უბალანსობა, თან ახლავს სიხშირის მნიშვნელოვანი ცვლილება. იმისათვის რომ შევინარჩუნოთ სისტემის ნორმალური მუშაობა საჭიროა შესრულდეს შემდეგი პირობები: სიმძლავრის დეფიციტის დროს სიხშირე არ დავარდეს გარკვეულ სიდიდემდე, რაც გამოიწვევს საქართველოს ელ. ენერგიის მომხმარებლების გამორთვას აქტიური სიმძლავრის ბალანსის აღდგენის მიზნით; სიმძლავრის ნაჭარბისას სიხშირე არ გაიზარდოს გარკვეულ სიდიდემდე, რაც წარმოადგენს საქართველოში გენერატორების სიხშირის რელების დანაყენს. იმ შემთხვევაში თუ საქართველოს ელექტრულ სისტემაში დაზიანების შემდგომ გარდამავალ პროცესში სიხშირე გაიზრდება 51 ჰც-ზე მეტად, სიხშირის ავტომატური განტვირთვის მოქმედებით რელები გენერატორებს ქსელიდან გამორთავენ. სწორედ ამიტომ საჭიროა სისტემის მდგრადობის შესანარჩუნებლად მოინახოს ისეთი საშუალებები რაც თავიდან აგვაცილებს სისტემის დინამიკური მდგრადობის დარღვევას.

არსებული მეთოდების ნაკლოვანება. საქართველოს ელექტრულ სისტემაში მომუშავე გენერატორებს ნებისმიერ რეჟიმში გააჩნია გარკვეული სიდიდის მზრუნავი რეზერვი როგორც აქტიური სიმძლავრის მომატებაზე ასევე შემცირებაზე, რომლის ამოქმედებასაც აქტიური სიმძლავრის ბალანსის დარღვევის შემთხვევაში უზრუნველყოფს გენერატორების სიჩქარის რეგულატორები. მაგრამ უნდა აღინიშნოს, რომ მიუხედავად ტურბინის სიჩქარის რეგულატორების მოქმედებისას, უეცრად წარმოქმნილ

დეფიციტზე მყისიერი რეაგირება არცერთ მათგანს არ შეუძლია მათი მნიშვნელოვანი ინერციულობის გამო.

სამუშაოს მიზანი. საქართველოს ელექტროსისტემაში გენერაციის ობიექტების და მოხმარების ზრდასთან, ასევე მეზობელ ქვეყნებთან სისტემათაშორისო ხაზების მშენებლობასთან ერთად საჭიროა მოიძებნოს ისეთი საშუალებები რომელიც სისტემის ნორმალურ მუშაობის საიმედოობას აამაღლეს, კერძოდ: შენარჩუნებული იქნება ელექტრული სისტემის სტატიკური და დინამიკური მდგრადობა ნებისმიერი სახის შეშფოთების დროს; განახლებადი ენერჯიების ინტეგრაცია ისე რომ არ გამოიწვიოს სისტემის საიმედო მუშაობის დარღვევა; დატვირთვის პიკების მოხსნა.

კვლევის ობიექტი და მეთოდოლოგია. საქართველოს ელექტრულ სისტემაში არსებული პრობლემებიდან გამომდინარე, რეკომენდებულია მოიძებნოს ისეთი ღონისძიებები, რომლებიც საჭიროებისდა მიხედვით, აქტიური/რეაქტიული სიმძლავრის უეცარი დეფიციტის/ნაჭარბის პირობებში შეინარჩუნებენ მუშაობაში მყოფ დატვირთვებს/გენერატორებს და ამასთან უზრუნველყოფენ დინამიურ მდგრადობას შენარჩუნებას. სწორედ ასეთ ღონისძიებად მიგვაჩნია ენერჯის დამაგროვებლების და სტატიკური კომპესატორის გამოყენება, რისი საკითხების შესწავლაც წარმოადგენს ნაშრომის ერთ-ერთ მიზანს. ანგარიშები ცატარებული იქნა საინჟინრო პროგრამა PSS/E და Digsilent PowerFactory-ში.

მეცნიერული სიახლე. ბოლო წლების განმავლობაში მსოფლიო მასშტაბით ელექტრულ სისტემაში მოხდა ისეთი ელემენტების განვითარება როგორებიცაა: მუდმივი დენის ჩანართები; სხვადასხვა ტიპის ენერჯის დამაგროვებლები; ქარის და მზის სხვადასხვა ტიპის ელექტროსადგურები; ზღვის მიმოქცევის ენერჯიაზე მომუშავე ელექტროსადგურები; ამ დანადგარებმა გახადეს შესაძლებელი ენერჯის დაგროვება. დატვირთვის პიკების მოხსნა; ძაბვის და სიხშირის მცირე რყევების უინერციო გასწორება; გენერატორის დინამიკური მდგრადობის მკვეთრი გაუმჯობესება; მზის და

ქარის ელექტროსადგურებით გამომუშავებული ენერჯის შენახვა და საჭირო საათებში გამოყენება; სისტემაში სიხშირის მკეთრი ცვლილების გამორიცხვა. არსებობს ენერჯის დამაგროვებლების სხვადასხვა ტიპები, რომელთა ფუნქციონირება დამყარებულია სხვადასხვა ფიზიკურ პრინციპზე:

- ✓ ჰიდროაკუმულირებადი ელექტრო სადგური;
- ✓ შეკუმშული აირის ენერჯის დამაგროვებელი;
- ✓ ქიმიური სააკუმულატორო ბატარიები;
- ✓ სუპერ კონდენსატორები;
- ✓ მქნევარიანი, კინეტიკური დამაგროვებელი;
- ✓ ზეგამტარული მაგნიტიანი დამაგროვებელი.

შედეგების გამოყენების სფერო. ნაშრომში ჩატარებული ანალიზის შედეგების საფუძველზე შესაძლოა გაიცეს რეკომენდაციები სტატიკური კომპესატორის და ენერჯის დამაგროვებლის გამოყენების კუთხით, რაც უზრუნველყოფს მდგრადობის შენარჩუნებას მთელი რიგი დიდი შემფოთებების შემთხვევაში, იქნება ეს მოკლე შერთვები, ხაზების ავარიული გათიშვა, გენერატორების ქსელიდან გამოყოფა თუ სხვა. აღნიშნული მიიღწევა იმის საფუძველზე, რომ სტატიკურ კომპესატორს შეუძლია საჭიროებისდა მიხედვით მყისიერად გასცეს ან მიიღოს რეაქტიული/აქტიური სიმძლავრე, მყისიერად აღადგინოს ქსელში ძაბვის ნომინალური სიდიდე. ენერჯის დამაგროვებელი კი აუმჯობესებს სისტემის დინამიურ მდგრადობას, „ასწორებენ“ დატვირთვის გრაფიკებს, აუმჯობესებენ ენერჯის ხარისხს. მათი გამოყენება ქარის და მზის ელექტროსადგურებთან კომპლექტში ზრდის ამ სადგურების გამოყენების ეფექტიურობას. ამავე დროს შესასწავლია ენერჯის დამაგროვებლების გავლენა ცალკეული გენერატორების სტატიკურ მდგრადობაზე. მაგალითად კომპლექტური მზის ელექტროსადგური აღჭურვილია სინქრონული გენერატორით. დილით და საღამოს მზის სადგურის სიმძლავრე მინიმალურია, ვინაიდან მზე დაბლა დგას და მზის ენერჯის კონცენტრაცია

ორთქლგენერატორზე მინიმალურია, შუადღისით კი პირიქით. ამიტომ დღის საათებში სადგურის ენერჯის ნაწილი გაიცემა ქსელში, ნაწილი კი გროვდება დამაგროვებელში. საღამოს კი გენერატორი და დამაგროვებელი ერთად გასცემენ ენერჯას ქსელში, ასევე ამით საქართველოს სისტემა შეინარჩუნებს მნიშვნელოვანი სიდიდის მომხმარებლებსა თუ გენერატორებს გარდამავალ პროცესში.

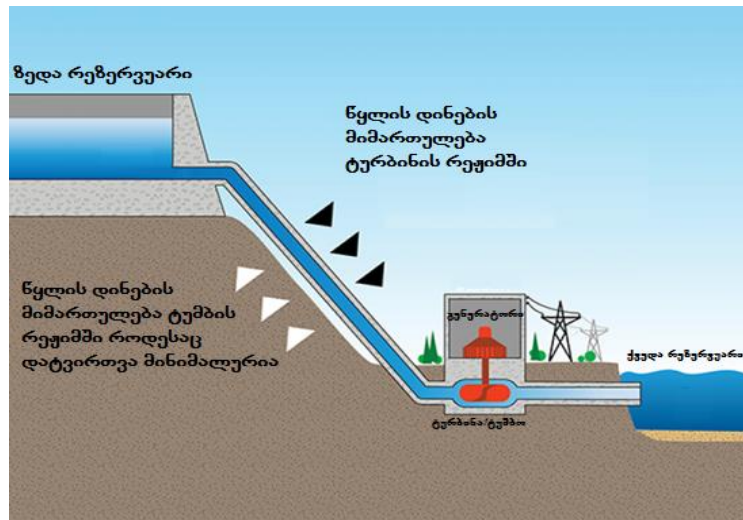
თავი 1. ელექტრული ენერჯის დამაგროვებლის დანიშნულება და სახეები

1.1 ჰიდრომააკულირებელი სადგური

ჰიდრომააკულირებელ სადგურში ენერჯის შენახვა ხდება წყლის სახით, რომელიც იტუმბება წყლის ზედა რეზერვუარში ქვედა რეზერვუარიდან, შესაბამისად ჰიდრომააკულირებად სადგურს გააჩნია ორი რეზერვუარი რომელიც ერთი განლაგებულია დიდ სიმაღლეზე მეორე კი დაბალ სიმაღლეზე, საილუსტრაციო სქემა ნაჩვენებია ნახ.1-ზე. იმ პერიოდის განმავლობაში როდესაც ელექტრული დატვირთვა არის მაღალი ტურბინა მუშაობს ტურბინის რეჟიმში, გენერატორი კი გენერატორულ რეჟიმში და ამ დროს სადგური წარმოადგენს ჩვეულებრივ ჰიდროელექტროსადგურს. როდესაც დატვირთვა არის დაბალი ამ დროს ტურბინა მუშაობს ტუმბოს რეჟიმში, გენერატორი კი ძრავულ რეჟიმში და ამ დროს წყალს ტუმბავს ტუმბო ზედა რეზერვუარში ამ რეჟიმში სადგური ჰიდრომააკულირებადს სადგურს წარმოადგენს.

შექცევად ტუმბო-ტურბინას/ძრავა-გენერატორს შეუძლია ორივე რეჟიმში მუშაობა როგორც ტუმბოს ასევე ტურბინულ რეჟიმში. როდესაც მუშაობს ტუმბოს რეჟიმში ამ დროს მსგავსია ტრადიციული ჰიდროელექტროსადგურის ოღონდ ელექტრული დატვირთვის გარეშე.

ჰიდრომააკულირებელი სადგურის გამოყენება ამერიკის შეერთებულ შტატებში და ევროპაში დაიწყო 1920 წლიდან. დღესდღეისობით 40-მდე ჰიდრომააკულირებადი სადგურია მოქმედებაში ამერიკის შეერთებულ შტატებში და რომელიც ამარაგებს 20 გვტ-ზე მეტ სიმძლავრეს, დაახლოებით 2 პროცენტს მთლიანი ელექტრული დატვირთვის. 2009 წელს ჰიდრომააკულირებელი სადგურის გენერირებული სიმძლავრე იყო 100 გვტ-ზე მეტი მსოფლიოში.



ნახ. 1. ჰიდროაკუმულირებადი სადგურის სქემა

ჰიდრომააკუმულირებელ სადგურს შეუძლია უზრუნველყოს ენერჯის ბალანსი, დაეხმაროს ქსელს სიხშირის კონტროლში და შექმნას რეზერვი. მას აქვს უნარი მსგავსად სხვა ჰიდროელექტროსადგურებისა, წამის ფარგლებში უზრუნველყოს დიდი ელექტრული ენერჯის ცვლილება. ასევე შეუძლია უზრუნველყოს მზრუნავი რეზერვი, ნოლიდან გამვების შესაძლებლობა, რეაქტიული სიმძლავრის რეზერვი. გენერატორულ რეჟიმში ტურბინა-გენერატორს შეუძლია ძალიან სწრაფი რეაგირება მოახდინოს სიხშირის გადახრაზე და უზრუნველყოს სისტემის სტაბილურობა. ორივე შემთხვევაში ტურბინულ და ტუმბოს რეჟიმში გენერატორს-ძრავას შეუძლია რეაქტიული სიმძლავრის ცვლილება და უზრუნველყოს სტაბილური ძაბვა. ასევე გენერატორს შეუძლია იმუშავოს როგორც სინქრონული კომპენსატორის რეჟიმში ან შეუძლია მოქმედებაში მოვიდეს როგორც მზრუნავი რეზერვი და სწრაფად აიღოს დატვირთვა.

მსოფლიოში უდიდესი ჰიდრომააკუმულირებადი სადგური “**Bath County Pumped Storage Station**” მდებარეობს ვირჯინიაში, ამერიკის შეერთებულ შტატებში. მისი დადგმული სიმძლავრეა 3003 მგვტ. სადგურში არის ორი რეზერვუარი, მათ შორის სიმაღლის სხვაობაა 380 მ. სადგურის მშენებლობა დაიწყო 1977 წლის მარტში და დასრულდა 1985 წლის დეკემბერში, მისი თავდაპირველი დადგმული სიმძლავრე იყო 2100 მგვტ

და მშენებლობის ღირებულება შეადგენდა 1.6 ბილიონ დოლარს. 2004 დან 2009 წლამდე მოხდა 6 ტურბინის განახლება და თითოეულ აგრეგატზე დადგმული სიმძლავრე გაიზარდა 500,5 მგვტ-მდე ხოლო სატუმბი სიმძლავრე 480 მგვტ-მდე.

ზედა რეზერვუარის მოცულობა 43 911 000 მ³, ქვედა რეზერვუარის მოცულობაა 34 447 მ³, სადგურზე არის 6 ფრენსისის ტიპის ტურბინა.

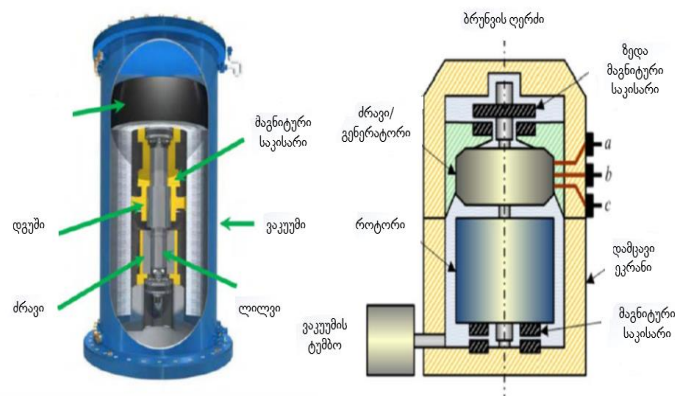
ცხრილი 1.-ში მოყვანილია ჰიდრომააკულირებადი სადგურის ელექტრული პარამეტრები.

ცხრილი 1. ჰიდრომააკულირებადი სადგურის ელექტრული პარამეტრები

შენახვის ფორმა	პოტენციური ენერგია
დროის კლასიფიკაცია	გრძელვადიანი შენახვა
ტევადობა	100 MWh – 10 GWh
ენერჯის სიმკვრივე	0,3 – 1,4 Wh/kg
ეფექტიანობის მაჩვენებელი	65% - 85%
თვითგანმუხტვის მაჩვენ.	0 – 0,5 %/d
რეაქციის დრო	>3 min

1.2 მქნევარიანი ენერჯის დამაგროვებელი

ასეთი ტიპის დამაგროვებლებში ელექტრული ენერჯია გარდაიქმნება მქნევარის ბრუნვის კინეტიკურ ენერჯიად ნახ.2 სისტემის მინიმალური დატვირთვების დროს დამაგროვებელი ღებულობს ენერჯის ქსელიდან. ელექტრული ძრავი (გენერატორი) აბრუნებს მასიურ მქნევარას. როდესაც საჭიროა ენერჯის გაცემა დამაგროვებლიდან ქსელში, ძრავი გადადის გენერატორულ რეჟიმში და გარდაქმნის მქნევარას კინეტიკურ ენერჯის ელექტრულში. ენერჯის დანაკარგების შესამცირებლად მქნევარა და ძრავ-გენერატორი მოთავსებულია ვაკუმუმში. გარდა ამისა, საკისრები მაგნიტურია. ძლიერი მაგნიტური ველი წევს მქნევარას ისე, რომ ის არ ეხება კორპუსს. [1]



ნახ. 2. მქნევარიანი ენერჯის დამაგროვებლის სქემა

როტორი არის მნიშვნელოვანი შემადგენელი ნაწილი მქნევარიანი ენერჯის დამაგროვებლისთვის. მაგალითისთვის, როტორის მასა გავლენას ახდენს მის სიმძლავრეზე. საკისრები და გარსაცმი უპირველეს ყოვლისა უზრუნველყოფს ხახუნის შემცირებაც რომელიც ამცირებს მის ეფექტიანობას და სიცოცხლის ხანგძლივობას. ძრავის/გენერატორის და სიმძლავრის მახასიათებლით განისაზღვრება მაქსიმალური სიმძლავრე რომელიც შეუძლია შეინახოს ამ ტიპის ენერჯის დამაგროვებელმა. მნიშვნელოვანი მახასიათებელს წარმოადგენს აგრეთვე სიმძლავრის და ენერჯის შესაძლებლობა რომელიც ერთმანეთისგან შედარებით დამოუკიდებელია.

ასეთი ტიპის დამაგროვებლების სიმძლავრე მერყეობს 100 კვტ-იდან 2 მგვტმდე, განმუხტვის პროცესი მერყეობს 5 დან 50 წამამდე. დიდი დიამეტრის მქონე როტორს შეუძლია შეინახოს 0,5 დან 1 კვტსაათამდე ენერჯია. ელექტრული ენერჯის გარდაქმნა მექანიკურში ხდება ძალიან მაღალი მარგი ქმედების კოეფიციენტით, 92-97 %. იმისათვის რომ მქნევარამ შეიძინოს ენერჯის დიდი რაოდენობა, ის უნდა ბრუნავდეს დიდი სიჩქარით. ასეთ დამაგროვებლებში მქნევარების ბრუნთა რიცხვი აღწევს 50 000 -70 000 ბრ/წთ. მქნევარიანი ენერჯის დამაგროვებელი განიხილება როგორც ენერჯის წყარო რომელიც უზრუნველყოფს სიმძლავრეს მცირე დროის განმავლობაში.

შევადართ მქნევარიანი ენერჯის დამაგროვებელი ელექტრულ ბატარეებს. მქნევარიანი ენერჯის დამაგროვებელს შეუძლია იმუშავონ უფრო ფართო ტემპერატურული ცვლილების დიაპაზონში ვიდრე ბატარეებს და ამავდროულად დამუხტვის პროცესი უფრო უსაფრთხოა ვიდრე ქიმიური ბატარეების დამუხტვის დროს. ასევე ნაკლებ ზიანს აყენებენ გარემოს ინერტული მასალებით. კიდევ ერთი უპირატესობა ის არის რომ ბრუნვის სიჩქარის გაზომვით შესაძლებელია იმის ცოდნა თუ რა რაოდენობის ენერჯია არის დაგროვებული. გააჩნიათ განუსაზღვრელი მუშაობის პერიოდი განსხვავებით ბატარეებისგან (მაგალითისთვის ლითიუმ იონური ბატარია სიცოცხლისუნარიანია დაახლოებით 36 თვე).

მბრუნავი სხეულის მიერ დაგროვებული კინეტიკური ენერჯია იანგარიშება შემდეგი ფორმულით:

$$W_k = \frac{JW^2}{2}$$

სადაც, J ინერჯის მომენტი W კუთხური სიხშირე

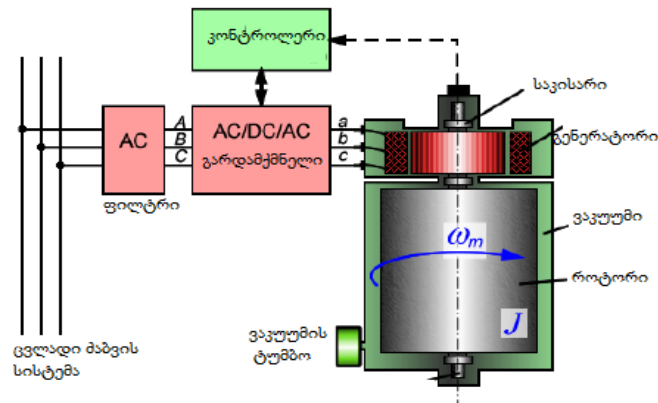
დამაგროვებელი მუშაობს ორ რეჟიმში 1. ენერჯის დაგროვება; 2. ენერჯის გაცემა. დაგროვების რეჟიმში ქსელის 50 ჰერცის სიხშირის ცვლადი ძაბვა გაიმართება გამმართველი შემდეგ ეს მუდმივი ძაბვა ინვენტორი გარდაიქმნება ისევ ცვლად ძაბვად. მართვის სისტემის საშუალებით ამ ძაბვის სიხშირე f_2 იცვლება დიდ ფარგლებში. დამაგროვებლის სინქრონული ძრავის (გენერატორის) ბრუნთა რიცხვი ტოლია

$$n = \frac{f_2 60}{p} \text{ ბრ/წთ.}$$

ბოლომდე დამუხტული დამაგროვებლის მქნევარას ბრუნთა რიცხვი 50 000ბრ/წთ. ამიტომ f_2 სიხშირის ცვლილება ენერჯის დაგროვების პროცესში უნდა ხდებოდეს 0 დან -3330 ჰერცამდე.

ენერჯის გაცემის პროცესში გამმართველი გამართავს დამაგროვებლის ცვლად ძაბვას. შემდეგ მუდმივი ძაბვა ინვენტორის საშუალებით გარდაიქმნება 50 ჰერცის სიხშირის ცვლად ძაბვად და

დამაგროვებლის ენერგია გაიცემა ქსელში. ენერჯის გაცემის რეჟიმში დამაგროვებლის მქნევარას კინეტიკური ენერგია გარდაიქმნება ელექტრულ ენერგიად და მისი ბრუნთა რიცხვი მცირდება. [1]



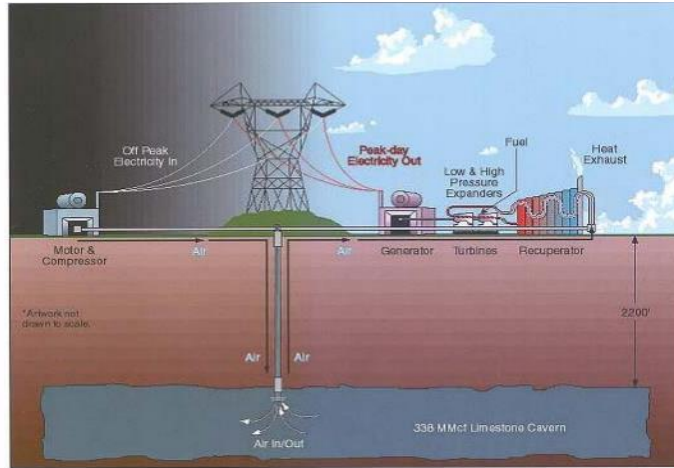
ნახ. 3. მქნევარიანი ენერჯის დამაგროვებლის პრინციპიალური ელექტრული სქემა

1.3 შეკუმშული აირის ენერჯის დამაგროვებელი

შეკუმშული აირის ენერჯის დამაგროვებელი ექვივალენტურია ჰიდრომააკულირებელი სადგურისა სადაც ხდება პირველადი ენერჯის შენახვა და შემდეგ საჭიროების შემთხვევაში ელექტრულ ენერჯიად გარდაქმნა, მაგრამ წყლის მაგივრად კომპრესორის საშუალებით ხდება ჰაერის ტუმბვა მიწის ქვეშ გაკეთებულ კამერაში. შეკუმშული აირის ენერჯის დამაგროვებელი არის პოტენციური ელექტრული ენერჯის წყარო, სადაც ხდება შეკუმშული აირის დაგროვება. როგორც წესი შეკუმშული აირის დაგროვება ხდება დიდი მოცულობის რეზერვუარებში ან მიწისქვეშ ხელოვნურად ან ბუნებრივად შექმნილ რეზერვუარებში. ნახ.4-ზე ნაჩვენებია შეკუმშული აირის დამაგროვებლის სტრუქტურული სქემა.

მინიმალური დატვირთვის დროს როდესაც ქსელში არაა სიმძლავრის დეფიციტი ამ დროს კომპრესორი ტუმბავს აირს რეზერვუარში. შეკუმშვის პროცესში ჰაერი ცხელდება. ჰაერს აცივებენ და ართმეულ სითბოს ინახავენ. მაქსიმალური დატვირთვების რეჟიმში შეკუმშული ჰაერი თბება

შენახული სითბოთი, მისი ენერჯია იზრდება. დამატებით გასაცხელებლად იყენებენ ბუნებრივ აირს. აირი იწვის, ჰაერის ტემპერატურა იზრდება და ის ატრიალებს აირტურბინას. აირტურბინა თავის მხრივ აბრუნებს გენერატორს.



ნახ. 4. შეკუმშული აირის დამაგროვებლის სტრუქტურული სქემა

პირველი შეკუმშული აირის ენერჯის დამაგროვებელი სადგური მუშაობაში მოვიდა 1978 წელს. 290 მგვტ-იანი სადგური მდებარეობს გერმანიაში ქალაქ ბრემენში რომელიც უზრუნველყოფდა სისტემის პიკური სიმძლავრის დატვირთვას, ბრუნავი რეზერვის შექმნას და აგრეთვე რეაქტიული სიმძლავრის მარაგს. 3,3 მილიონი კუბური მეტრი ინახება 1000 პასკალამდე წნევით რეზერვუარში რომელიც მდებარეობს მიწის ქვეშ 630-780 მეტრზე. სადგურს ჰირდება 12 საათი სრულად რომ დაიმუხტოს ხოლო ამის შემდეგ შეუძლია 290 მგვტ-ის უზრუნველყოფა 4 საათის განმავლობაში.

Alabama's Electric Cooperative შექმნა მეორე შეკუმშული აირის ენერჯის დამაგროვებელი სადგური რომლის სიმძლავრე არის 110 მგვტ და მოქმედებაში მოვიდა 1991 წლიდან. ეს სადგური გამოიყენება ბრუნავი რეზერვის შესაქმნელად და აგრეთვე პიკური დატვირთვის დროს სიმძლავრის გენერაციის წყაროდ. 3,9 მილიონი კუბური მეტრი ინახება 1080 პასკალამდე წნევით რეზერვუარში რომელიც მდებარეობს მიწის ქვეშ 750

მეტრზე და შეუძლია სრული სიმძლავრის მიწოდება სისტემისთვის 26 საათის განმავლობაში. ცხრილი 2.-ში ნაჩვენებია შეკუმშული აირის ენერჯის დამაგროვებლის ელექტრული პარამეტრები.

ცხრილი 2. შეკუმშული აირის ენერჯის დამაგროვებლის ელექტრული პარამეტრები

შენახვის ფორმა	პოტენციური ენერჯია
დროის კლასიფიკაცია	მოკლედან საშუალოვადიანამდე
ტევადობა	100MWh – 1.500MWh
ენერჯის სიმკვრივე	2 - 7 Wh/m ³
ეფექტიანობის მაჩვენებელი	40% - 70%
თვითგანმუხტვის მაჩვენებელი	0 - 10 %/d
რეაქციის დრო	3 – 10 min

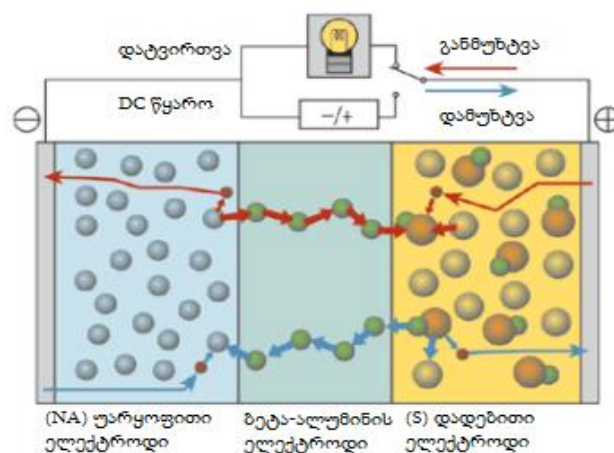
შეკუმშული აირის ენერჯის დამაგროვებლის დადებითი მხარე: უპირველეს ყოვლისა შეკუმშული აირის ენერჯის დამაგროვებელი სადგურის დადებით მხარედ ის უნდა აღინიშნოს რომ დახმარება გაუწიოს ქსელს საჭიროების შემთხვევაში, რომელიც მდგომარეობს შემდეგში: პიკური დატვირთვის მოხსნა; მბრუნავი რეზერვის შექმნა; რეაქტიული სიმძლავრის უზრუნველყოფა. უფასო საწვავი; 10-100 მგვტ უზრუნველყოფა 4 საათის განმავლობაში; ხანგძლივი მუშაობის პერიოდი;

შეკუმშული აირის ენერჯის დამაგროვებლის ძირითად უარყოფით მხარეს წარმოადგენს ჰაერის შეკუმშვის დროს დამატებითი გამათბობლის გამოყენება. ბუნებრივი აირის გამოყენება გარკვეულ ზიანს აყენებს გარემოს ნახშიროჟანგის გამოყოფით და ასევე შეკუმშული აირის ენერჯის დამაგროვებლის თვითღირებულების ფასზეც გავლენას ახდენს. 3 კვტს-ის გენერირებისას დანაკარგი დაახლოებით 1 კვტ-ია.

1.4 გოგირდ-ნატრიუმის ბატარეა

გოგირდ-ნატრიუმის ბატარეა შეიცავს დამდნარ ნატრიუმს როგორც უარყოფით ელექტროდს (ანოდი), მყარ კერამიკულ ელექტროლიტს და დამდნარ გოგირდს როგორც დადებით ელექტროდს (კათოდი). ნატრიუმის დადებითი იონები მყარი კერამიკული ელექტროლიტის გავლით გადადიან გამდნარ გოგირდში სადაც ხდება ქიმიური რეაქცია, რომელიც ნაჩვენებია ნახ.5-ზე. იონების გადაადგილების გამარტივების მიზნით გოგირდი და ნატრიუმი ინახება გამდნარ მდგომარეობაში 300°C და 360°C ტემპერატურის ქვეშ.

მთავარ ფუნქციას ასეთი ტიპის ბატარეებისთვის წარმოადგენს ენერჯის დიდი ხნის განმავლობაში შენახვა, ასევე გამოიყენება დატვირთვების გაწონასწორებისთვის და განახლებადი ენერჯების მიერ როგორცაა მზის და ქარის ელექტროსადგურები გამომავალი სიმძლავრის გაგლუვება. მარგი ქმედების კოეფიციენტია 89%. პიკური დატვირთვის დროს ბატარეას შეუძლია 30 წამის განმავლობაში გასცეს ქსელში დენი, რომელიც აღემატება მის ნომინალური განმუხტვის დენს 6 ჯერ. აკუმულატორებს ათავსებენ თბოიზოლირებულ ვაკუმურ სათავსოში. დამუხტულ მდგომარეობაში აკუმულატორის ძაბვა 2 ვოლტია. [1]



ნახ. 5. გოგირდ-ნატრიუმის ბატარეას პრინციპიული ელექტრული სქემა

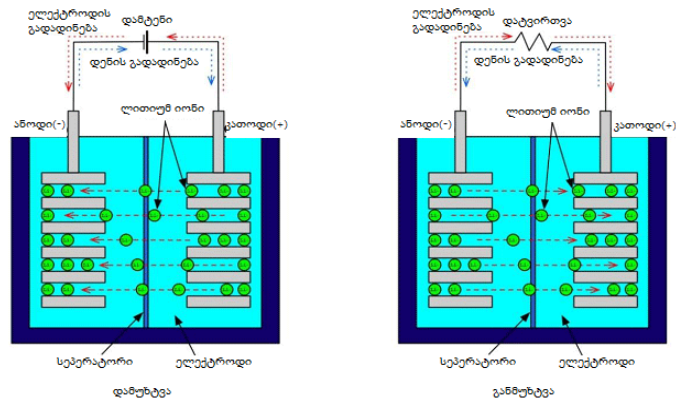
ასეთი ტიპის ბატარეებს უწევთ მაღალი ტემპერატურის ქვეშ მუშაობა და შესაძლებელია მოხდეს მისი აფეთქება იმ შემთხვევაში თუ შეხება ექნებათ წყალთან ამიტომ უნდა მოხდეს უსაფრთხოების წესების დაცვა. მისი გამომავალი ენერგია მერყეობს 360 კვტ საათიდან ათეულ მგვტ საათამდე, ნომინალური განმუხტვის სიმძლავრე მერყეობს 50 კვტ-დან 100 კვტ-მდე.

ცხრილი 3. გოგირდ-ნატრიუმის ბატარეას ელექტრული პარამეტრები

შენახვის ფორმა	ქიმიური ენერგია
დროის კლასიფიკაცია	მოკლევადიანი შენახვა
ტევადობა	1kWh – 100MWh
ენერჯის სიმკვრივე	120 - 230 Wh/kg
ეფექტიანობის მაჩვენებელი	72% - 81%
თვითგანმუხტვის მაჩვენებელი	ქიმიურად მინიმალური, მაგრამ სითბური დანაკარგები/სითბური ენერგია

1.5 ლითიუმ იონის ბატარეა

ლითიუმ იონის ბატარეა წარმოადგენს მრავალჯერადი დატენვის ტიპის ბატარეას რომელშიც ხდება იონების გადაადგილება, კერძოდ როდესაც ხდება ბატარეის დატენვა ამ დროს ლითიუმის იონები გადაადგილდებიან უარყოფითი ელექტროდებიდან დადებითი ელექტროდებისკენ, განმუხტვის პროცესში დადებითი ელექტროდებიდან უარყოფითი ელექტროდებისკენ ნახ.6. ბატარეის შემადგენელი ნაწილებია: კათოდური ელექტროდი, რომელიც დამზადებულია ალუმინის ფოლგაზე და ანოდური ელექტროდი რომელიც დამზადებულია სპილენძის ფოლგაზე. კათოდი დამზადებულია ლითიუმ კობალტის ოქსიდისაგან, ანოდი კი დამზადებულია გრაფიტისაგან, ელექტროდები განცალკევებულია ერთმანეთისაგან ელექტროლიტით გაჟღენთილი ფოროვანი სეპარატორით.



ნახ. 6. ლითიუმ იონის ბატარეას პრინციპიალური ელექტრული სქემა

ლითიუმ-იონის ბატარეები ძირითადად გამოიყენება სამომხმარებლო ელექტრონიკაში მათი მაღალი ენერჯის და დაბალი ლოდინის დანაკარგების გამო. უახლოესი წლების განმავლობაში მოხდა ახალი ტექნოლოგიების განვითარება და 2000 წლიდან ლითიუმ-იონის ბატარეები უფრო მეტად გამოიყენება ელექტროძრავისა და საავიაციო პროგრამებისთვის. ბოლომდე დამუხტული აკუმულატორის ძაბვა 3,5-3,8 ვოლტია. ელექტრულ სისტემებში გამოიყენება აკუმულატორთა ბატარეები რომლებსაც შეუძლიათ გასცენ ქსელში 20 მეგავატი 1 საათის განმავლობაში, ან 50 მგვტ 0,5 საათის განმავლობაში ან და 400 მეგავატი 20 წამის განმავლობაში. [1]

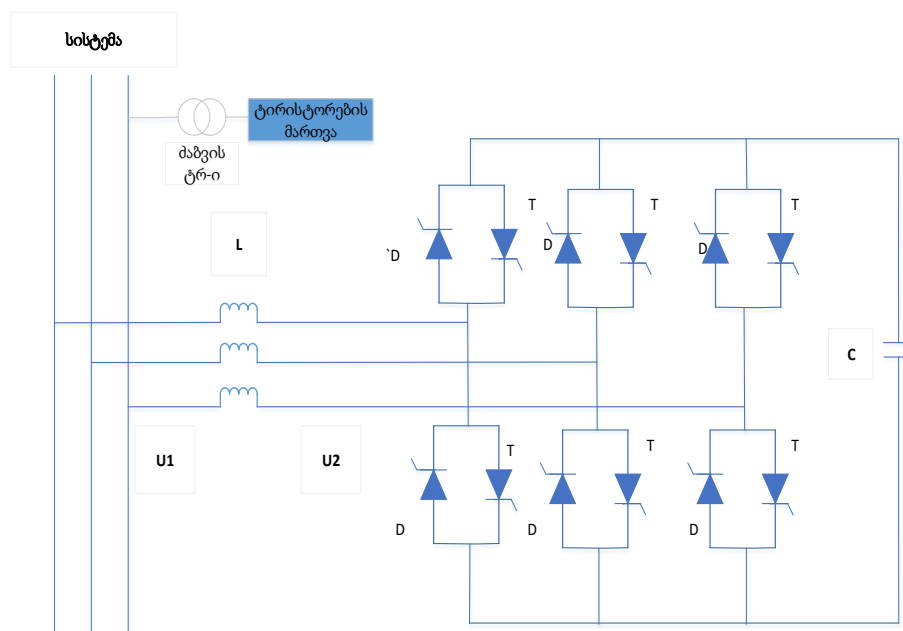
ლითიუმ-იონის ბატარეებს აგრეთვე გააჩნიათ უარყოფითი მხარე. პირველი, მისი მუშაობის ხანგძლივობა დამოკიდებულია დატენვის ციკლზე, ანუ თუ რამდენად ხშირად ხდება მისი დატენვა განმუხტვის პროცესი, ასეთი ბატარეები არ უნდა გამოიყენებოდეს იმ მომხმარებლებისთვის რომლებიც მოითხოვენ ბატარიის სრულ განმუხტვას. მეორე, რკინის ოქსიდის ელექტროდი შეიძლება გახდეს თერმულად არასტაბილური ელემენტის გადახურების გამო, რის გამოც ირღვევა შესაბამისად განმუხტვის და დამუხტვის ნორმალური რეჟიმი. საბოლოოდ, ასეთი ბატარიის უარყოფით მხარეს წარმოადგენს მისი ფასი.

ცხრილი 4. ლითიუმ იონის ბატარეას ელექტრული პარამეტრები

შენახვის ფორმა	ქიმიური ენერგია
დროის კლასიფიკაცია	მოკლევადიანი შენახვა
ტევადობა	1kWh – 40MWh
ენერჯის სიმკვრივე	110 - 240 Wh/kg
ეფექტიანობის მაჩვენებელი	90% - 97%
თვითგანმუხტვის მაჩვენ.	0,008 – 0,041 %/d
რეაქციის დრო	3 – 5 ms

1.6 სტატიკური სინქრონული კომპენსატორი (STATCOM)

სტატიკური სინქრონული კომპენსატორი მუშაობა დაფუძნებულია მუდმივი დენის წყაროს (დამუხტული კონდენსატორის) ელექტრული ველის ენერჯის ინვეტირებაზე სამფაზა ცვლად დენად. გამოიყენება ტირისტორული ანდა ველის ტრანზისტორებზე აგებული ინვეტორ-გამმართველი. კომპენსატორის პრინციპიალური სქემა ნაჩვენებია ნახ.7-ზე. C კონდენსატორი დამუხტულია U_k ძაბვამდე. [1]



ნახ. 7. სტატიკური კომპენსატორის პრინციპიალური სქემა

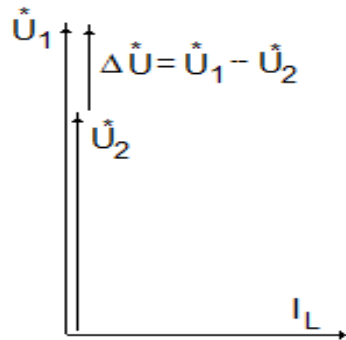
ცხრილი 5. ABB ტიპის სტატიკური სინქრონული კომპენსატორის გამოყენება მსოფლიო მაშტაბით

წელი	ტიპი	ქვეყანა	ძაბვა [კვ]	ინდუქციური სიმძლავრე [მგვარ]	ტევადური სიმძლავრე [მგვარ]
2015	STATCOM	Sweden	8,6	20	20
2013	STATCOM	Kazakhstan	35	32	32
2013	STATCOM	Wales	132	50	70
2012	STATCOM	England	33	100	50
2012	STATCOM	Scotland	33	68	68
2011	STATCOM	Germany	30	32	48
2011	STATCOM	Scotland	33	12,5	12,5
2011	STATCOM	England	33	26	26
2011	STATCOM	Scotland	33	51	51
2010	STATCOM	England	33	13	26
2009	STATCOM	Chile	220	65	140
2009	STATCOM	Scotland	33	54	54
2008	STATCOM	Japan	22	10	90
2007	STATCOM	France	63	15	15
2007	STATCOM	England	33	24	24
2007	STATCOM	England	33	24	24
2006	STATCOM	Ireland	21	12,5	12,5
2006	STATCOM	Malaysia	11	13	13
2006	STATCOM	Indonesia	20	10	30
2006	STATCOM	Canada	138	72	72
2004	STATCOM	Indonesia	33	64	64
2003	STATCOM	USA	138	80	110
2001	STATCOM	France	90	16	16
1993	STATCOM	USA	138	72	72

კონდენსატორში დაგროვებულია $W_k = \frac{U_k^2 C}{2}$ ენერგია. T ტირისტორების ანთების კუთხის სათანადო შერჩევით, კონდენსატორის მუდმივი ძაბვა გარდაიქმნება U_2 სამფაზა, 50 ჰერცის სიხშირის სინუსოიდალურ ძაბვად. ამ ძაბვის სიდიდის ცვლილება შესაძლებელია ტირისტორების ანთების კუთხის რეგულირებით. ცხრილი 5.-ში მოყვანილია ABB ტიპის სტატიკური სინქრონული კომპენსატორის გამოყენება მსოფლიო მაშტაბით. [1]

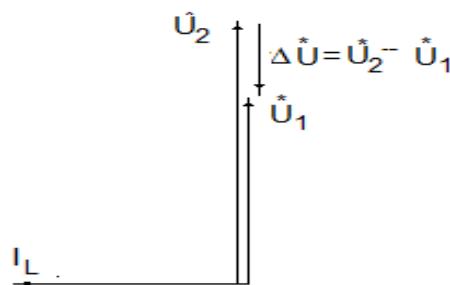
სტატიკური სინქრონული კომპენსატორის მუშაობის რამოდენიმე ვარიანტი არსებობს. იმ შემთხვევაში თუ სისტემის ძაბვა U_1 მეტია სტატკომის ძაბვაზე U_2 მაშინ რეაქტორში გაივლის დენი რომელიც ჩამორჩება სისტემის ძაბვას 90° ეს ნიშნავს, რომ კომპენსატორი მოიხმარს

რეაქტიულ სიმძლავრეს. ნახ.8 ამ სიმძლავრის სიდიდის რეგულირება ხდება S_2 ძაბვის სიდიდის ცვლილებით, ტირისტორების ანთების კუთხის ცვლილებით. თუ ინვერტორი აგებულია ველის ტრანზისტორებზე, მაშინ ამ ტრანზისტორების მართვის ძაბვის რეგულირებით.



ნახ. 8. ძაბვის ვექტორული დიაგრამა სტატკომის ინდუქტიური ხასიათის დატვირთვის დროს

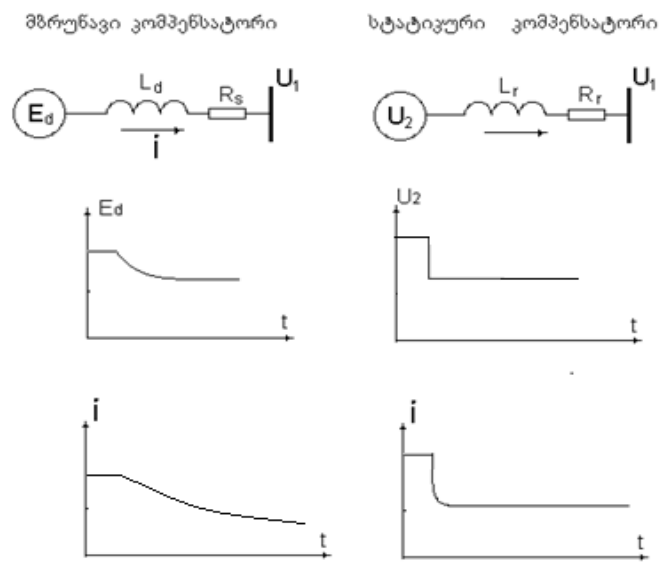
თუ სისტემის S_1 ძაბვა ნაკლებია კომპენსატორის S_2 ძაბვაზე, მაშინ რეაქტორში გაივლის დენი, რომელიც უსწრებს სისტემის ძაბვას 90 გრადუსით და ის ტევადურია. ამ შემთხვევაში კომპენსატორი სისტემაში გასცემს რეაქტიულ სიმძლავრეს. ნახ.9



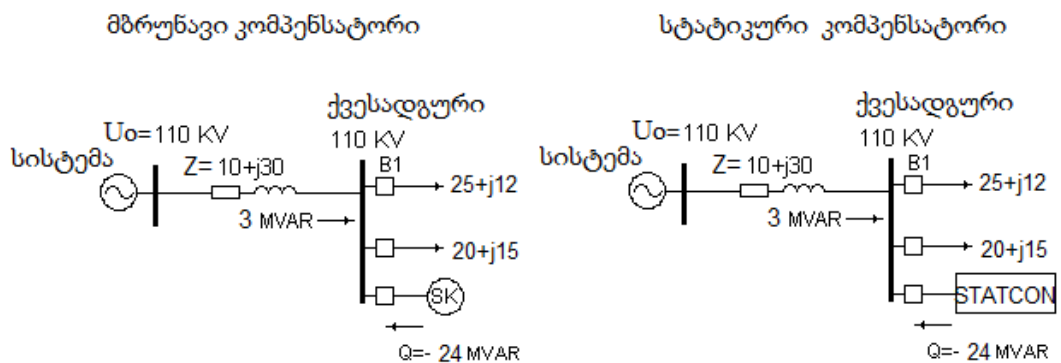
ნახ. 9. ძაბვის ვექტორული დიაგრამა სტატკომის ტევადური ხასიათის დატვირთვის დროს

გამოდის რომ ეს დანადგარი სრული ანალოგია მბრუნავი სინქრონული კომპენსატორის. შევადაროთ მბრუნავი და სტატიკური კომპენსატორები ერთმანეთს. მბრუნავი კომპენსატორის ემ ძალის გაზრდისათვის საჭიროა გავზარდოთ აგზნების დენი. მაგრამ აგზნების გრავნილის დიდი ინდუქტიურობის გამო დენი გაიზრდება საკმაოდ ნელა

4-6 წამის განმავლობაში. სტატიკური კომპენსატორის დაბვა კი იცვლება პრაქტიკულად მყისიერად, ნახ.10 გარდა ამისა მბრუნავი კომპენსატორის როტორის გრაგნილის ინდუქტიურობა ძალიან დიდია, ამიტომ დენის ზრდის სიჩქარე სტატიკური კომპენსატორის შემთხვევაში გაცილებით დიდია. შესაბამისად უფრო ჩქარა იცვლება სისტემაში მიწოდებული რეაქტიული სიმძლავრე. ესეიგი სტატიკურ კომპენსატორს არ გააჩნია ინერციულობა. თანაც მას არა აქვს მბრუნავი ნაწილები და ამიტომ მისი ექსპლუატაცია გაცილებით მარტივია.



ნახ. 10. სტატკომის და სინქრონული კომპენსატორის შედარება

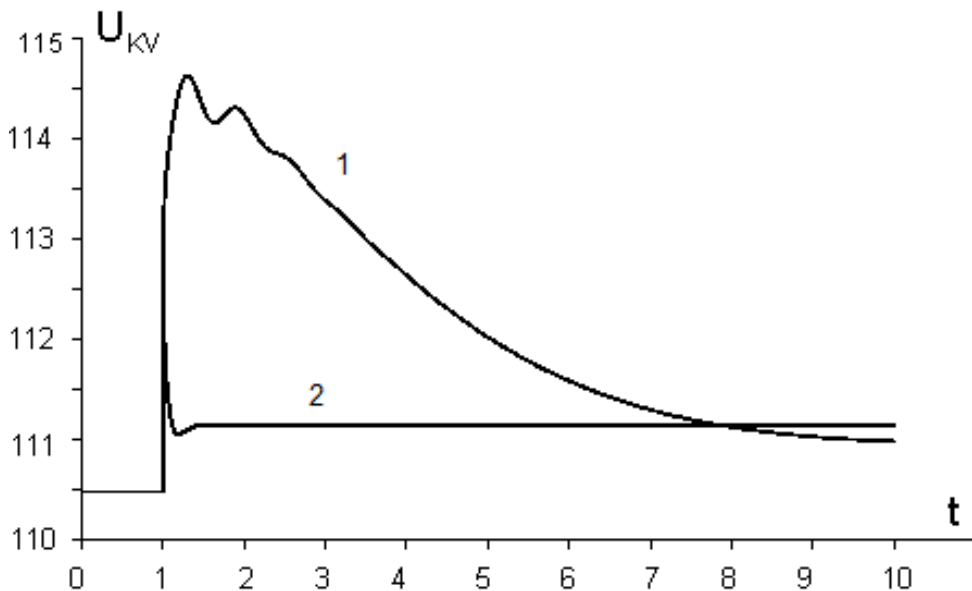


ნახ. 11. ჩანაცვლების სქემა სტატკომის და სტატიკური კომპენსატორის გამოყენებისას

შევადართ მბრუნავი და სტატიკური კომპენსატორების რეაქცია ერთ და იგივე მოვლენაზე. ნახ.11-ზე ნაჩვენებია საწყისი რეჟიმი ორივე შემთხვევაში, მბრუნავი და სტატიკური კომპენსატორით.

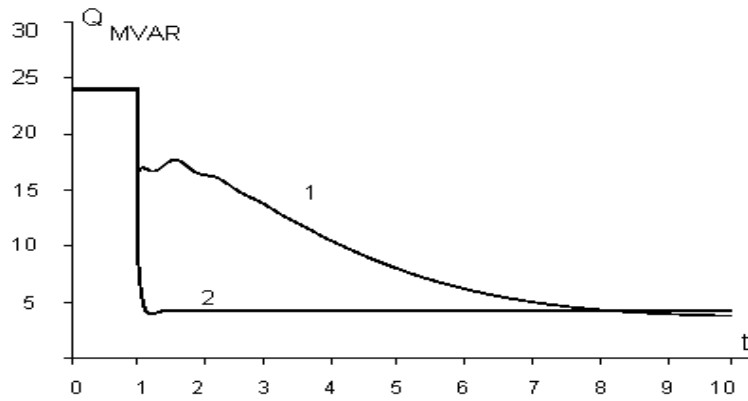
ვთქვათ ითიშება B1 ამომრთველი. 110 კვ ძაბვის სალტებზე ძაბვა გაიზრდება და ორივე კომპენსატორმა უნდა დაარეგულიროს ეს ძაბვა.

დატვირთვის გამორთვის შემდეგ, ორივე შემთხვევაში ძაბვა იწყებს ზრდას. სტატიკური კომპენსატორის პრაქტიკულად მყისიერი რეაქციის გამო, ძაბვა იზრდება 112 კილოვოლტამდე და წამის მეათედებში მყარდება (მრუდი 2) . მბრუნავი კომპენსატორის შემთხვევაში ძაბვა იზრდება 114,5 კილოვოლტამდე (მრუდი 1) და მერე 10 წამის შემდეგ მყარდება, ნახ.12



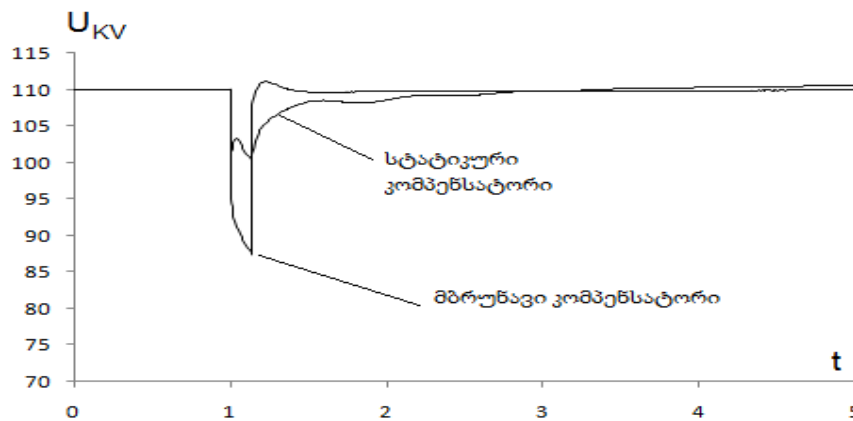
ნახ. 12. ძაბვის მრუდები სტატკომის და სინქრონული კომპენსატორის გამოყენებისას

კომპენსატორების რეაქტიული სიმძლავრეების ცვლილებებს შორის განსხვავება კარგად ჩანს ნახ.13-ზე. მბრუნავი კომპენსატორის დიდი ინერციულობის გამო (მრუდი 1), ეს სიმძლავრე მცირდება საკმაოდ მდორედ, სტატიკური კომპენსატორისაგან განსხვავებით, მრუდი 2.



ნახ. 13. რეაქტიული სიმძლავრის ცვლილება სტატკომის და სინქრონული კომპენსატორის გამოყენებისას

სტატიკური კომპენსატორი უფრო ეფექტიურად რეაგირებს ქსელში მოკლე შერთვებზე. თუ განხილული სქემის 110 კვ ძაბვის ხაზზე მშ დროს მბრუნავი კომპენსატორის პირობებში ძაბვა შემცირდა 85 კილოვოლტამდე, სტატიკური კომპენსატორის გამოყენებისას ძაბვა შემცირდა მხოლოდ 100 კილოვოლტამდე, ნახ.14. [1]



ნახ. 14. ძაბვის მრუდები მოკლედ შერთვის დროს სტატკომის და სინქრონული კომპენსატორის გამოყენებისას

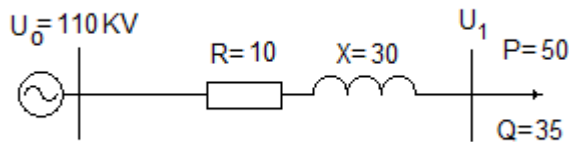
1.7 რეაქტიული სიმძლავრის კომპენსაციის განხორციელების გზები

ელექტრულ ქსელში არსებობს როგორც აქტიური სიმძლავრის ასევე რეაქტიული სიმძლავრის მომხმარებლები. $\cos \varphi = \frac{P}{\sqrt{P^2+Q^2}}$ წარმოადგენს

სიმძლავრის კოეფიციენტს რომელიც ასახავს ფარდობას აქტიურ და სრულ სიმძლავრეს შორის, სხვა სიტყვებით რომ თქვათ სრული სიმძლავრის რა ნაწილია აქტიური სიმძლავრე, ხოლო $\tan \varphi = \frac{Q}{P}$ აღნიშნავს აქტიური და რეაქტიული სიმძლავრეებს შორის თანაფარდობას. რაც უფრო პატარაა დატვირთვის $\cos \varphi$, მით მეტია მის მიერ მოთხოვნილი რეაქტიული დენი (სიმძლავრე).

განვიხილოთ მარტივი მაგალითი თუ როგორ არის დამოკიდებული გადაცემის ხაზის ბოლოში ძაბვა და აქტიური სიმძლავრის დანაკარგები მასში დატვირთვის რეაქტიული სიმძლავრის სიდიდეზე. [1]

ვთქვათ გვაქვს შემდეგი სქემა, ნახ.15



ნახ. 15. ელექტრული ქსელის ჩანაცვლების სქემა

სიმძლავრე წარმოდგენილია მეგავატებში, წინააღობა კი ომებში. დატვირთვის მოცემული სიდიდე შეესაბამება ნომინალურ ძაბვას მისი მიერთების წერტილში, ანუ $U_n = 110 \text{ KV}$. ფაზური ძაბვა ამ დროს ტოლია $U_g = \frac{110}{\sqrt{3}} = 63,5 \text{ KV}$. შემოვიღოთ დატვირთვის ეკვივალენტური წინააღობა

$$Z_L = \frac{3U_g^2}{P - jQ} = \frac{3U_g^2 P}{P^2 + Q^2} + j \frac{3U_g^2 Q}{P^2 + Q^2} = \frac{3 \cdot 63,5^2 \cdot 50}{50^2 + 35^2} + j \frac{3 \cdot 63,5^2 \cdot 35}{50^2 + 35^2} = 172,4 +$$

$j143,69 \text{ ომი}$

ანუ $R_L = 172,4$ და $X_L = 113,69$. ესეიგი წყაროს ძაბვაზე მიერთებულია

$$R_{\Sigma} = 10 + 162,4 = 172,4 \text{ ომი და } X_{\Sigma} = 30 + 113,69 = 143,69 \text{ ომი.}$$

მაშასადამე ხაზში გაივლის დენი

$$I = \frac{U_g}{R_{\Sigma} + jX_{\Sigma}} = \frac{63,5 \text{ (KV)}}{172,4 + j143,69 \text{ (ohm)}} = 0,217 - j181 \text{ KA} = 217 - j181 \text{ A.}$$

დენის მოდული იქნება $I = \sqrt{217^2 + 181^2} = 283 \text{ A.}$

ეს დენი გამოიწვევს ხაზის აქტიურ წინაღობაში სიმძლავრის დანაკარგებს

$$\Delta P = 3 * I^2 R = 3 * 283^2 * 10 = 2402670 \text{ W. ანუ } 2,4 \text{ მეგავატს.}$$

ძაბვა ხაზის ბოლოში კი იქნება ტოლი:

$$\dot{U}_{1g} = \dot{U}_{og} - \dot{I} * (R + jX) = 63,5 - (0,217 - j0,181) * (10 + j30)$$

$$\dot{U}_{1g} = 55,9 - j4,7 \text{ ფაზური ძაბვის მოდულია}$$

$$U_{1g} = \sqrt{55,9^2 + 4,7^2} = 56 \text{ KV.}$$

ხაზური ძაბვა კი იქნება $U_1 = \sqrt{3}56 = 97 \text{ KV}$. ეს ძაბვა დაუშვებლად დაბალია.

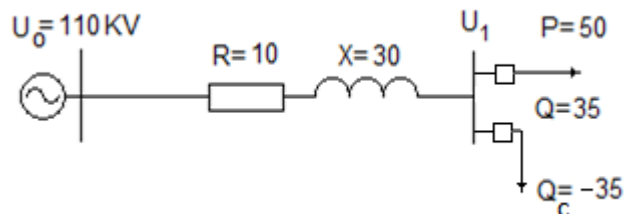
იმისათვის რომ ხაზის ბოლოში იყოს 110 კვ, საჭიროა მის თავში გვექონდეს 123 კვ.

ეს კი ამ სალტის სხვა მომხმარებლებისათვის იქნება დაუშვებელი.

არსებობს ამ პრობლემის გადაწყვეტის რამოდენიმე გზა.

1) მომხმარებლის რეაქტიული სიმძლავრის გაკომპენსირება კონდენსატორთა ბატარეის მიერთებით;

მომხმარებელთან, იმავე სალტეზე ჩავრთოთ ტევადობა, ნახ.16



ნახ. 16. ელექტრული ქსელის ჩანაცვლების სქემა

თუ კონდენსატორი გენერირებს დატვირთვის ტოლ რეაქტიულ სიმძლავრეს, მაშინ დატვირთვის ეკვივალენტური წინაღობა იქნება

$$Z_L = \frac{3U_g^2}{P - jQ} = \frac{3U_g^2 P}{P^2 + Q^2} + j \frac{3U_g^2 Q}{P^2 + Q^2} = \frac{3 * 63,5^2 * 50}{50^2} = 241,9 \text{ ომი}$$

მაშინ ხაზში გაივლის მხოლოდ აქტიური დენი.

$$I = \frac{U_g^2}{R_\Sigma + jX_\Sigma} = \frac{63,5 \text{ (KV)}}{251,9 + j30 \text{ (ohm)}} = 0,248 - j0,029 \text{ KA} = 248 - j29 \text{ A.}$$

$$\text{დენის მოდული იქნება } I = \sqrt{248^2 + 29^2} = 249,6 \text{ A.}$$

ეს დენი გამოიწვევს ხაზის აქტიურ წინაღობაში სიმძლავრის დანაკარგებს

$$\Delta P = 3 * I^2 R = 3 * 249,6^2 * 10 = 1869004 \text{ W ანუ } 1,86 \text{ მეგავატს.}$$

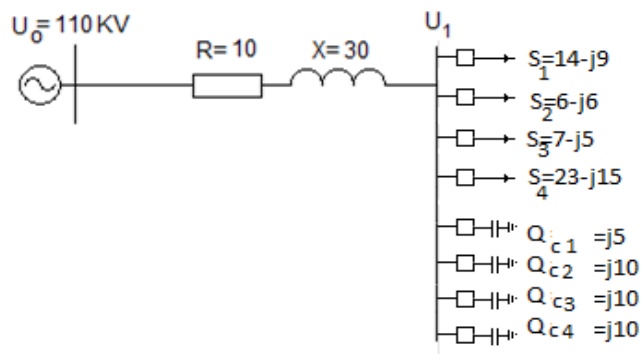
სიმძლავრის დანაკარგები ხაზში შემცირდა $2,4-1,86=0,54 \text{ MW}$ -ით
მაბვს ხაზის ბოლოში კი იქნება ტოლი:

$$\dot{U}_{1გ} = \dot{U}_{ოგ} - \dot{I} * (R + jX) = 63,5 - (0,248 - j0,029) * (10 + j30)$$

$$\dot{U}_{1გ} = 60,15 - j7,15 \text{ ფაზური ძაბვის მოდულია}$$

$$U_{1გ} = \sqrt{60,15^2 + 7,15^2} = 60,92 \text{ KV.}$$

ხაზური ძაბვა კი იქნება $U_1 = \sqrt{3} * 60,92 = 105,5 \text{ KV}$. ასეთი ძაბვა კი დასაშვებია. თუ სალტეზე მიერთებულია რამოდენიმე დატვირთვა, მაშინ უნდა იყოს შესაძლებლობა მაკომპენსირებელი ტევადობის სიდიდის შეცვლისა. მაგალითად ისე როგორც ეს ნაჩვენებია ნახ.17-ზე.

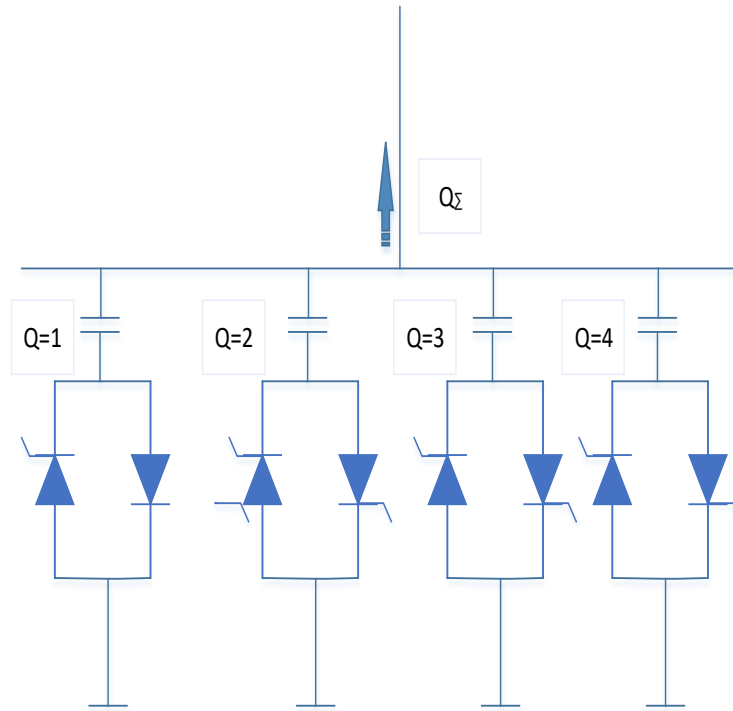


ნახ. 17. რეაქტიული სიმძლავრის გენერაცია მცირე სიდიდის ტევადობებით

იმის და მიხედვით რა დატვირთების ჩართული, საჭირო იქნება ტევადობების სხვადასხვა კომბინაციის ჩართვა.

გარდა ამისა, ყოველი დატვირთვა იცვლება დღე-ღამის განმავლობაში და ეს თავის მხრივ მოითხოვს ტევადობების სხვა კომბინაციას. ყველაზე კარგი იქნებოდა გვექონოდა ბევრი, მცირე სიდიდის ტევადობა. ასეთ შემთხვევაში უფრო ზუსტად შესაძლებელი იქნება შევარჩიოთ საჭირო ტევადობა ამავე დროს ასეთ სქემას გააჩნია ნაკლიც, ჯერ ერთი საჭიროა ამომრთველების დიდი რაოდენობა, ქვესადგურის ფართი იზრდება, რაც აადვილებს დანადგარს. გარდა ამისა რეგულირება საფეხურებიანია.

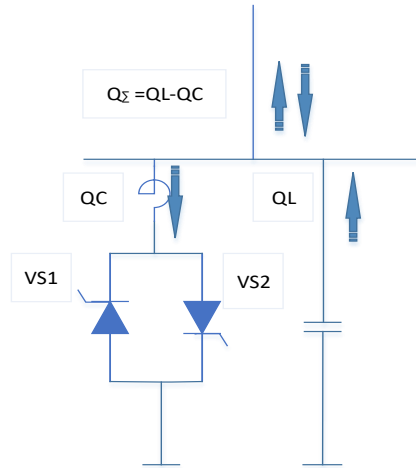
წინა სქემასთან შედარებით, ნახ.18-ზე ნაჩვენებ სქემას აქვს უპირატესობა: ამომრთველების მაგივრად გამოყენებულია ტირისტორები; სქემას გააჩნია უფრო დიდი სწრაფქმედება და იმედიანობა.



ნახ. 18. რექტიული სიმძლავრის ტირისტორული რეგულირება

მაგრამ რეგულირება რჩება საფეხურებიანი. გაცილებით უფრო დიდი მოქნილობა გააჩნია შემდეგ სქემას, ნახ.19. ტირისტორების ანთების კუთხის რეგულირებით შესაძლებელია რექტორში გამავალი დენის რეგულირება ნულიდან მაქსიმუმამდე.

ესეიგი შეიცვლება მის მიერ მოთხოვნილი რექტიული სიმძლავრე, ამავე დროს კონდესატორის მიერ გენერირებული რექტიული სიმძლავრე უცვლელია. ქსელში კი მიეწოდება ამ სიმძლავრეების სხვაობა. ტირისტორების ანთების კუთხის რეგულირება ხდება ძაბვის ავტომატური რეგულირების მეშვეობით. სქემის ნაკლად ჩაითვლება რექტორის აუცილებლობა და ამასთან დაკავშირებული საჭირო ფართის ზრდა.

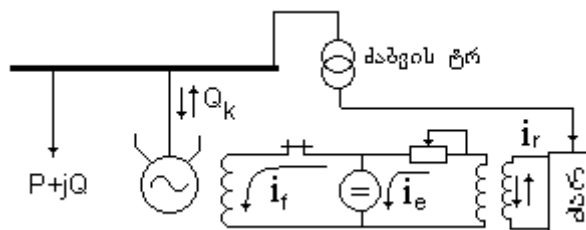


ნახ. 19. რეაქტორში გამავალი დენის რეგულირება ტირისტორების ანთების კუთხის ცვლილებით

რეაქტორის და კონდესატორის პარამეტრები (რეაქტიული წინაღობები) უნდა იყოს შერჩეული ისე რომ, არ შესრულდეს რეზონანსის პირობა:

$$\omega L = \frac{1}{\omega C}$$

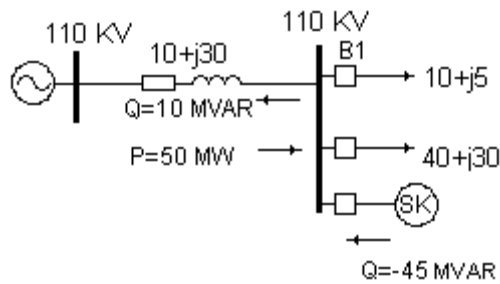
რეაქტიული სიმძლავრის კონდენსაცია ხდება აგრეთვე სინქრონული კონდესატორის მეშვეობით. სინქრონული კონდესატორი წარმოადგენს მანქანას, რომელიც ბრუნავს ქსელიდან მიღებული აქტიური სიმძლავრის ხარჯზე და გასცემს ან მოიხმარს ქსელიდან რეაქტიულ სიმძლავრეს. ზემოთ აღწერილ სქემასთან შედარებით მას შეუძლია ქსელში ძაბვის აწევისას მოიხმაროს ქსელიდან რეაქტიული სიმძლავრე და ამით დაარეგულიროს ძაბვა მისი მიერთების წერტილში. სინქრონული კონდესატორი აღჭურვილია ძაბვის ავტომატური რეგულატორით, რომელიც ცვლის მისი აგზნების დენს და ამით ცვლის მის რეაქტიულ სიმძლავრეს. [1]



ნახ. 20. აგზნების დენის რეგულირებით კომპენსატორის რეაქტიული სიმძლავრის ცვლილება

სინქრონული კომპენსატორი მზრუნავი მანქანაა, მას სჭირდება თავისი დამხმარე მოწყობილობები: ზეთის სისტემა, გაცივების სისტემა, რელეური დაცვა და სხვა. ამიტომ მისი ექსპლუატაცია საკმაოდ რთულია და მოითხოვს პერსონალს. გარდა ამისა მისი როტორის დიდი ინდუქციურობის გამო, მას გააჩნია ინერციულობა ძაბვის რეგულირების თვალსაზრისით.

შევადართ სინქრონული კომპენსატორის და კონდესატორთა ბატარეის მოქმედება ერთი და იგივე პირობებში. გვაქვს ნახ.21 ზე ნაჩვენები სქემა.

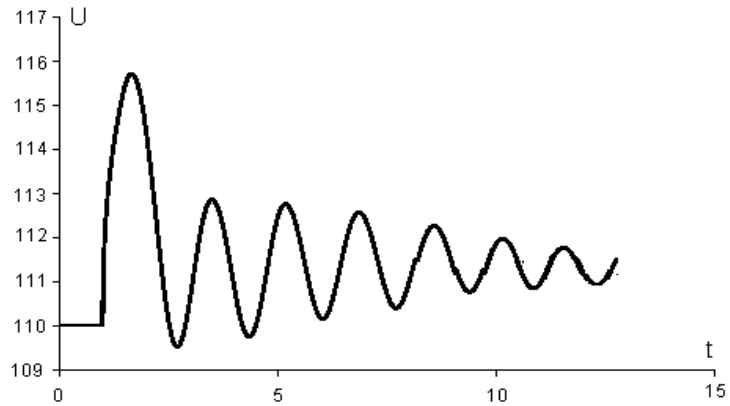


ნახ. 21. ელექტრული ქსელის ჩანაცვლების სქემა

სინქრონული კომპენსატორი აწვითარებს 45 მგვარ სიმძლავრეს. ეს სიმძლავრე სრულად აკონპენსირებს დატვირთვის და 10 მგვარ კიდევ გადის ხაზში. ამრიგად რეაქტიული სიმძლავრის დანაკარგები ნაწილობრივ გაკონპენსირებულია და ძაბვა მომხმარებლის სალტეზე ნომინალურია.

თუ რაიმე მიზეზით B1 გამოირთო, მაშინ კონდესატორის კომპენსატორის სიმძლავრე აღმოჩნდება მეტი ვიდრე საჭიროა და ძაბვა სალტეებზე გაიზრდება. სინქრონული კონდესატორის ძაბვის რეგულირება დაიწყებს მისი აგზნების დენის შემცირებას რის შედეგადაც შემცირდება მისი ემ ძალა და ძაბვა მის მომჭერებზე. ეს პროცესი წარიმართება რხევის სახით, ნახ.22

პირველ მომენტში ძაბვა გაიზარდა 116 კვ-მდე, შემდეგ კი იწყება მისი მიღევა. ძაბვის რყევა გამოწვეულია იმით, რომ დატვირთვის გამორთვისას ძაბვის გაზრდა ზრდის სინქრონული კომპენსატორის მზრუნავ მომენტს.



ნახ. 22. ძაბვის ცვლილება დატვირთვის ამორთვის გამო

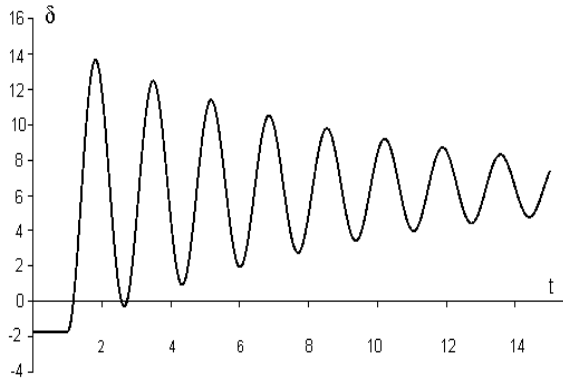
მომენტი ან ფარდობით ერთეულებში კომპლესატორის მიერ ქსელიდან მახმარებული აქტიური სიმძლავრე დამოკიდებულია ძაბვაზე მის მომჭერებზე და გამოისახება ცნობილი ფორმულით:

$$P = \frac{E_d U}{x} \sin \delta$$

სადაც E_d კომპლესატორის ემ ძალაა, U ძაბვაა მის მომჭერებზე ანუ სალტეზე, δ კუთხეა ემ ძალასა და ძაბვას შორის.

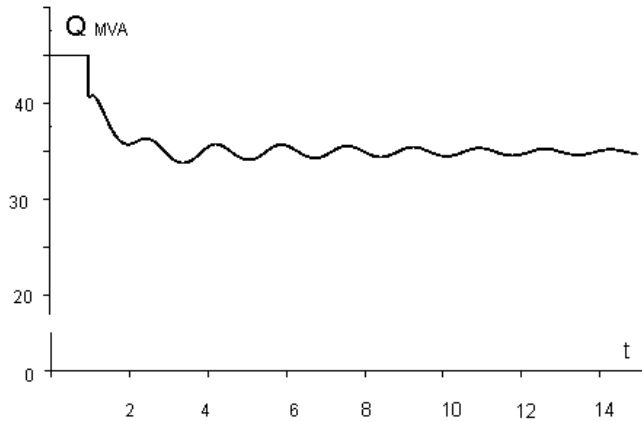
კომპლესატორის მიერ ქსელიდან მოთხოვნილი აქტიური სიმძლავრე ხმარდება მისი ბრუნვისას ხახუნის და ჰაერის წინაღობის დამღევაზე და ეს სიდიდეები რჩებიან ყოველთვის მუდმივი. ტვირთვის გამორთვის შემდეგ, ძაბვის ზრდა გაზრდის კომპლესატორის აქტიურ სიმძლავრეს, რომელიც მეტი აღმოჩნდება ხახუნის დასამღევად საჭირო სიდიდეზე. სიმძლავრის ეს ნაჭარბი ააჩქარებს კონდესატორის როტორს, კუთხე ემ ძალასა და ძაბვას შორის შემცირდება და დაიწყება როტორის მიღევადი რყევა. სწორედ ამ რყევით აიხსნება ძაბვის რყევა სალტეზე. ნახ.23 და ნახ.24-ზე ნაჩვენებია δ კუთხის და კომპლესატორის რეაქტიული სიმძლავრის ცვლილება დროში.

ვნახოთ თუ როგორ წარიმართება პროცესი თუ სინქრონული კომპლესატორის მაგივრად სქემაში გამოყენებულია კონდენსატორები. გვაქვს 9 კონდესატორი 2 მგვარ და 9 კონდესატორი 5 მგვარ სიმძლავრის.



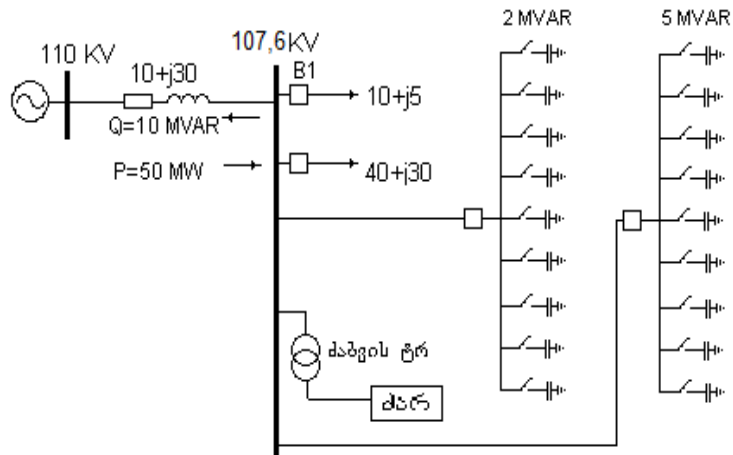
ნახ. 23. δ კუთხის ცვლილება

კონდენსატორის გადართვა ხდება სწრაფმოქმედი ელგაზური კონტაქტორებით რომელთა ჩართვის ან გამორთვის დრო 0,1 წამია, ნახ.25.



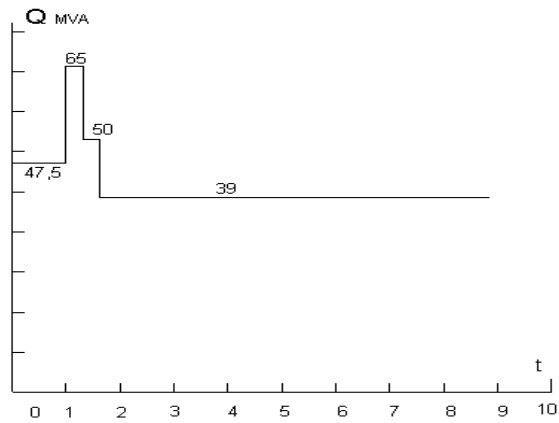
ნახ. 24. კომპენსატორის რეაქტიული სიმძლავრის ცვლილება

B1 ამომრთველის გამორთვის შემდეგ, ძაბვა მომხმარებლების სალტეზე აიწევა ვინაიდან ძაბვის ვარდნა ხაზში გახდება ნაკლები. ძაბვის აწევა თავისთავად გაზრდის კონდენსატორის მიერ გაცემულ რეაქტიულ სიმძლავრეს. $Q_c = U^2 \omega C$ სადაც C მიერთებული კონდენსატორის ტევადობაა. კონდენსატორთა ბატარეა აღჭურვილია ძაბვის ავტომატური რეგულატორით. რეგულატორი რეაგირებს გაზრდილ ძაბვაზე და რიგრიგობით დაიწყებს კონდენსატორების გამორთვას. როგორც კი ძაბვა გახდება ნომინალურის ტოლი, რეგულატორი შეწყვეტს მუშაობას.



ნახ. 25. ელექტრული ქსელის ჩანაცვლების სქემა

ცხადია, რომ რაც უფრო ბევრია მცირე სიმძლავრის კონდესატორი, მით უფრო ზუსტად შეარჩევს რეგულატორი საჭირო ტევადობას. ნახ.26-ზე ნაჩვენებია ბატარეის რეაქტიული სიმძლავრის ცვლილება. [1]



ნახ. 26. ბატარეის რეაქტიული სიმძლავრის ცვლილება

თავი 2. ელექტრული ენერჯის დამაგროვებლის გათვალისწინებით დინამიკური მდგრადობის ანალიზი

2.1. სტატიკური კომპენსატორის მუშაობა ავარიის საწინააღმდეგო ავტომატიკის მოქმედებისას

საქართველოს ელექტრულ სისტემაში გამოიყენება ავარიის საწინააღმდეგო ავტომატიკა. რომელიმე 500 კვ ძაბვის ხაზის გამორთვისას, სისტემაში შეიძლება შეიქმნეს სიტუაცია როცა რაიმე 220 კვ ძაბვის ხაზი აღმოჩნდება დაუშვებლად გადატვირთული. ამ შემთხვევაში დაცვა გამორთავს ასეთ ხაზს. სისტემის სხემის კონფიგურაციის მიხედვით, შეიძლება მოხდეს სისტემის გაყოფა აღმოსავლეთ და დასავლეთ ნაწილებად. მაგალითად „იმერეთის“ გამორთვისას, იმისდამიხედვით თუ რა სიმძლავრე გადიოდა ამ ხაზში, შეიძლება გადაიტვირთოს 220 ძაბვის ხაზი კოლხიდა-1. და სისტემა გაიყოფა ორად. ავარიის საწინააღმდეგო ავტომატიკა მუშაობს შემდეგნაირად: თუ იმერეთზე გამავალი სიმძლავრე და ენგურჭესის 500/220 ავტოტრანსფორმატორის სიმძლავრე ჯამში შემდეგია:

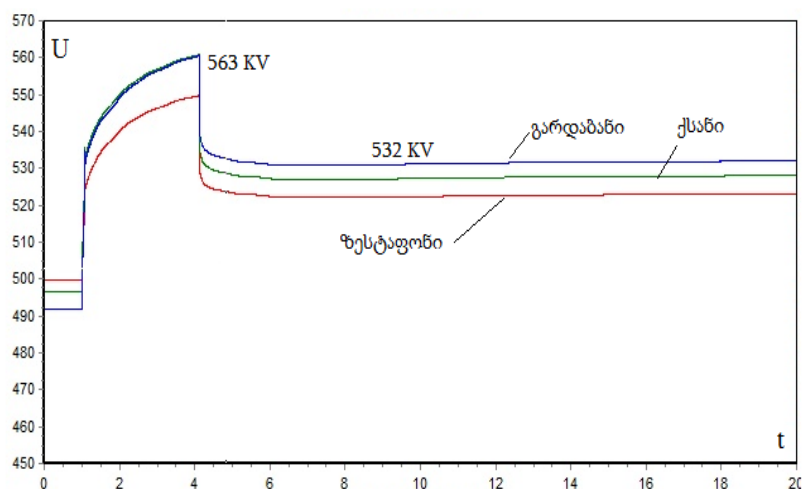
1. $320 \text{ მგვტ} < P_{Imer} + P_{AT} < 570 \text{ მგვტ}$ ენგურჭესზე გამოირთვება 1 გენერატორი;
2. $570 \text{ მგვტ} < P_{Imer} + P_{AT} < 800 \text{ მგვტ}$ ენგურჭესზე გამოირთვება 2 გენერატორი;
3. $800 \text{ მგვტ} < P_{Imer} + P_{AT}$ ენგურჭესზე გამოირთვება 3 გენერატორი;

ამასთან ერთად ზესტაფონის აღმოსავლეთით გამოირთვება იმერეთზე გამავალი სიმძლავრის ტოლი ტვირთი. იმისდამიხედვით, თუ რა რეჟიმი იყო ავარიამდე და რა ტვირთი გამოირთო, აღმოსავლეთ საქართველოში შესაძლებელია ძაბვის მნიშვნელოვანი გაზრდა. თუ ძაბვა

გაიზრდება 560 კილოვოლტამდე, მაშინ შესაბამისი ავტომატიკა 0,3 წამის დაყოვნებით ჩართავს რეაქტორს.

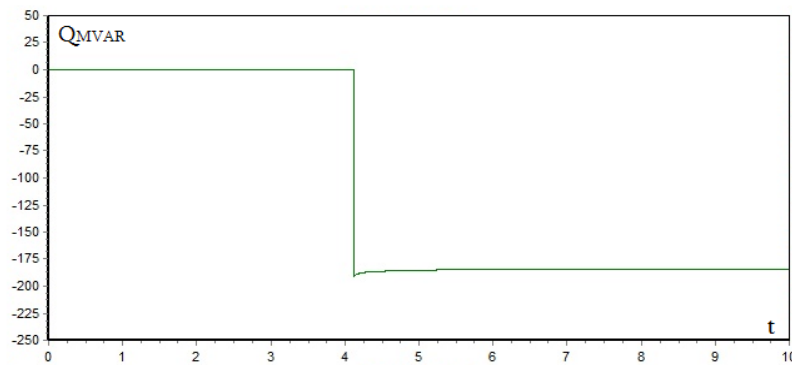
ჩვენი მიზანია შევისწავლოთ და შევადაროთ პროცესების მიმდევრობა სქემაში რეაქტორის არსებობისას და იმ შემთხვევაში, როცა რეაქტორის მაგივრად გამოყენებულია სტატკომი.

მოდელირება მოხდა პროგრამა PSS/E-ს საშუალებით. ავარიის წინა რეჟიმი იყო შემდეგი: „იმერეთზე“ გადიოდა 368 მგვტ და ენგურის ავტოტრანსფორმატორში კი 258 მგვტ. რეაქტორები იყო ჩართული ენგურზე და გარდაბანში. ესეიგი იმერეთის გამორთვისას ავტომატიკამ ენგურზე უნდა გამორთოს ორი გენერატორი, რომელთა ჯამური ტვირთი ახლოსაა 368 მგვტ-თან. ჩვენ შემთხვევაში ესაა გ-3 და გ-4. ავტომატიკამ ჯერ უნდა შეამციროს მინიმუმამდე ახალციხეს ცანართის ტვირთი. ორი ჩანართით თურქეთში გადიოდა 220 მგვტ. ერთი ცანართის მინიმალური ტვირთია 35 მგვტ. ესეიგი ჩანართები შეამცირებენ სიმძლავრეს 70 მგვტ-მდე. მოხდება ჩანართების განტვირთვა $220-70=150$ მგვტ-ით. დანარჩენი ტვირთი $368-150=218$ მგვტ უნდა მოიხსნას აღმოსავლეთ საქართველოში. ასეთი დიდი ტვირთის მოხსნა იწვევს ძაბვის ზრდას, ნახ.27



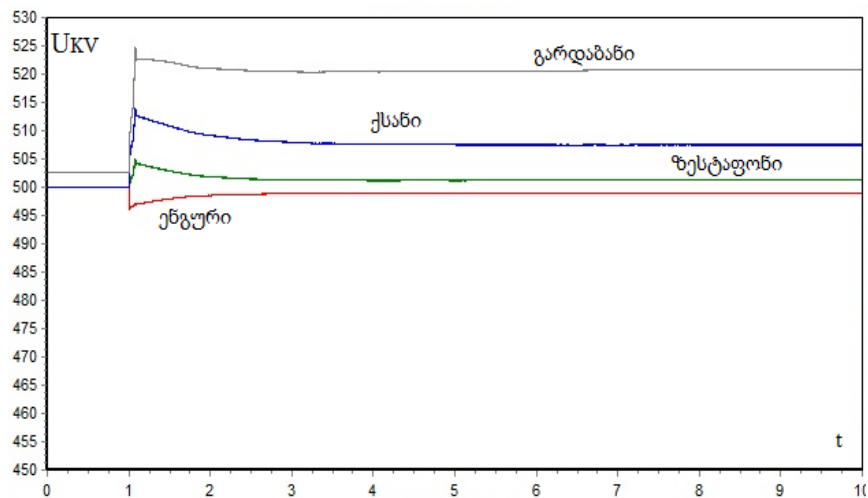
ნახ. 27. ძაბვის ცვლილება ე.გ.ხ იმერეთის ავარიულად ამორთვისას

როდესაც ძაბვამ მიაღწია 560 კილოვოლტს, ავტომატიკამ ჩართო რეაქტორი ქსანში, ნახ.28. ზესტაფონში რეაქტორმა ჩართვა ვერ მოასწრო, რადგან ძაბვა შემცირდა 560 კვ-ს ქვევით. როგორც ვხედავთ ნახ26-ზე, სისტემაში მყარდება საკმაოდ მაღალი ძაბვა. დასაშვებია კი 525 კვ. მაშასადამე დისპეტჩერმა უნდა დაარეგულიროს ეს საკითხი. ამას კი სჭირდება გარკვეული დრო.

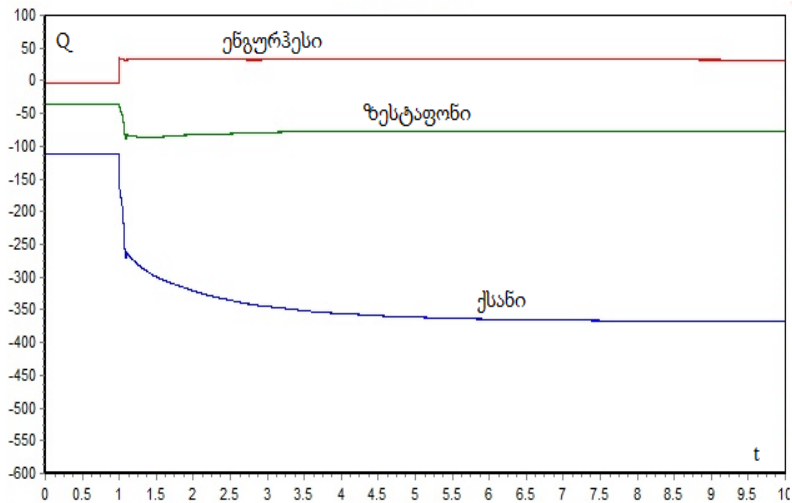


ნახ. 28. ქსანის რეაქტორის რეაქტიული სიმძლავრე

მოდელირების მეორე ვარიანტში ენგურში, ზესტაფონში და ქსანში ჩართული იყო სტატიკური კომპენსატორები. ამ შემთხვევაში ძაბვა იზრდება უმნიშვნელოდ, ნახ.29.



ნახ. 29. ძაბვის ცვლილება სტატიკური კომპენსატორის გამოყენებისას



ნახ. 30. სტატიკური კომპენსატორების რეაქტიული სიმძლავრის ცვლილება

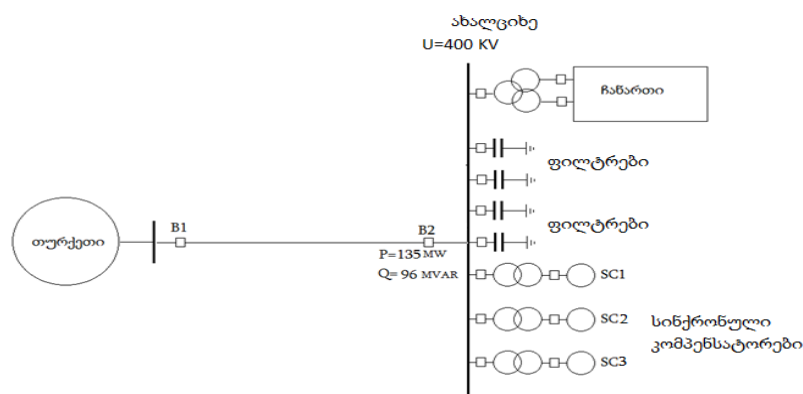
ენგურჰესზე სტატკომმა გასცა ქსელში რეაქტიული სიმძლავრე. ზესტაფონში და ქსანში კი პირიქით, მიიღო ქსელიდან რეაქტიული სიმძლავრე ნახ.30 და ამით დაარეგულირა ძაბვები.

2.2. ახალციხის ქვესადგურში სტატიკური კომპენსატორის გამოყენების შესახებ

ახალციხის ქვესადგურში, 400 კვ-ის მხარეს სამი სინქრონული კომპენსატორის აუცილებლობა გამოწვეულია ჩანართების ნორმალური მუშაობისათვის საჭირო ESCR (მოკლე შერთვის ეფექტური ფარდობის) სიდიდის მოთხოვნით. ეს სიდიდე აჩვენებს, გააჩნია თუ არა სისტემას საჭირო რეაქტიული სიმძლავრის მარაგი ჩანართის ფუნქციონირებისათვის. მოკლე შერთვის ეფექტური ფარდობა გამოითვლება შემდეგნაირად $ESCR = \frac{S_{MVA}}{P_{dc}} - \frac{Q_F}{P_{dc}}$. აქ S_{MVA} - მშ სიმძლავრეა 400 კვ სალტეზე, P_{dc} - ჩანართების სიმძლავრე და Q_F - ფილტრების სრული სიმძლავრე. ESCR არ უნდა იყოს 2-ზე ნაკლები. ეგზ „მესხეთი“ საკმაოდ გრძელი ხაზია, 152 კმ. ჰარმონიკების ჩასაქრობად საჭიროა ოთხი 85 მგვარ სიმძლავრის ფილტრი. ორი ჩანართის ჯამური სიმძლავრე $P_{dc} = 700$ მგვტ. S_{MVA} - მშ სიმძლავრე 400 კვ ძაბვის სალტეებზე, თურქეთის სისტემის პარამეტრებიდან გამომდინარე

კი არ არის საკმარისი, რომ მივიღოთ საჭირო სიდიდის *ESCR*. ამიტომ გახდა საჭირო სამი 60 მგვა სიმძლავრის კომპენსატორის გამოყენება.

სქემაში სინქრონული კომპენსატორების არსებობამ შეიძლება შექმნას საშიში სიტუაცია. მაგალითად, თუ ეგზ „მესხეთი“ გამოირთვება მხოლოდ თურქეთის მხრიდან, ამ ხაზის გამორთვა გამოიწვევს კონვერტორების ჩაკეტვას. სინქრონული კომპენსატორები ან ერთი კომპენსატორი ხდება მბრუნავი მომენტის არამქონე სინქრონული მანქანა, დატვირთული ფილტრებით და ხაზით უქმ სვლაზე. ამ შემთხვევაში კომპენსატორი ბრუნავს ინერციით და მის დატვირთვას შეადგენს ან ხაზის ტევადობა ფილტრების ტევადობასთან ერთად, ან თუ ფილტრები გამოირთო ჩანართის ჩაკეტვასთან ერთად, მხოლოდ ხაზის ტევადობა. თუ სინქრონული მანქანის ტვირთი ტევადურია, მაშინ ადგილი ექნება თვითაგზნებას. თვითაგზნების პირობაა $X_d'' < X_c < X_d$. ახალციხის ქვესადგურის პარამეტრების თანახმად, ფარდობით ერთეულებში გვაქვს: ერთი კომპენსატორის შემთხვევაში $0,307 < 0,73 < 2,3$. აქ $X_d'' = 0,307, X_d = 2,3$ და ხაზის ტევადობის წინალობაა $X_c = 0,73$. ორი კომპენსატორის თვითაგზნების პირობაა $0,103 < 0,73 < 1,15$. სამი კომპენსატორის დროს კი $0,102 < 0,73 < 0,766$. როგორც ვხედავთ თვითაგზნების პირობა სრულდება სამივე შემთხვევაში.



ნახ. 31. ახალციხე 500 კვ ქვესადგურის 400 კვ მხარის ჩანაცვლების სქემა

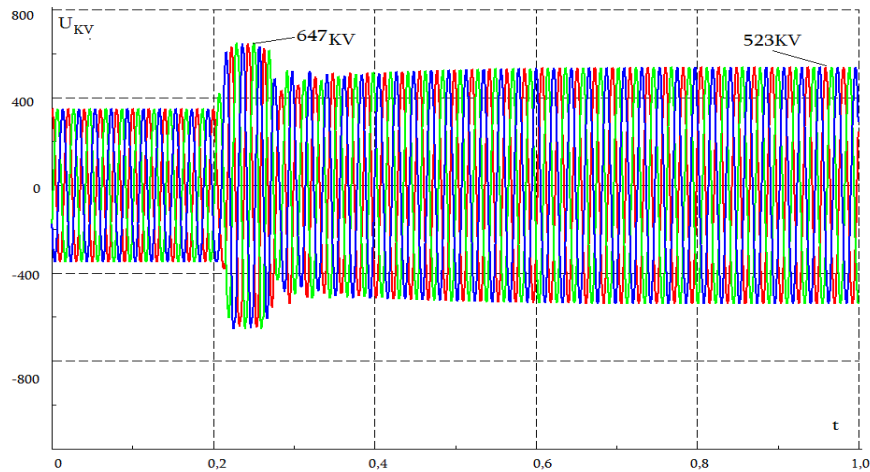
ამ მოვლენის შესასწავლად ჩატარდა ნახ.31-ზე ნაჩვენები სქემის კომპიუტერული მოდელირება თურქეთში გაცემული სიმძლავრის სხვადასხვა სიდიდისა და კომპენსატორების სხვადასხვა რაოდენობისათვის. შედეგები მოყვანილია ცხრილი 6.-ში.

ცხრილი 6. ძაბვის მნიშვნელობა ახალციხის 400 კვ სალტეზე თურქეთში გაცემული სიმძლავრის სხვადასხვა სიდიდისა და კომპენსატორების სხვადასხვა რაოდენობისათვის როდესაც მესხეთის ხაზი ირთვება თურქეთის მხრიდან

თურქეთში გაცემა (მგვტ)	კომპენსატორების რაოდენობა	ფაზური ძაბვა (ამპლიტუდა კვ)
700	3	586/340
500	3	596/325
300	2	657/400
150	1	660/455
35	1	647/523

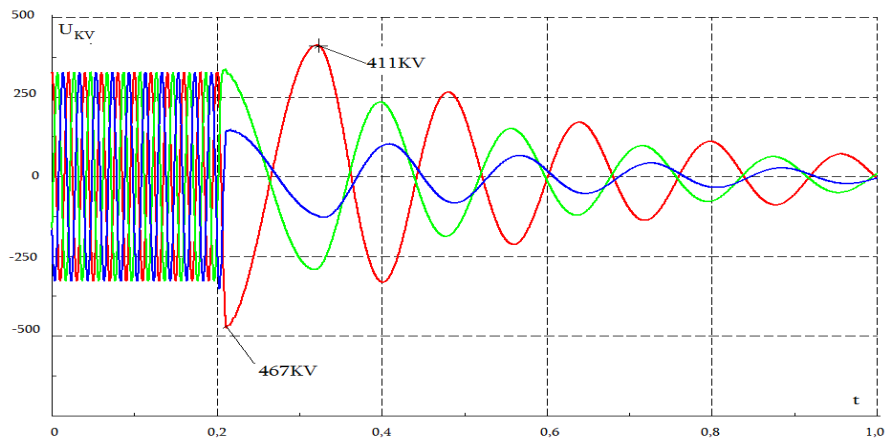
586 - მაქსიმალური ძაბვა, /340 - ძაბვა 1 წამის ბოლოს.

თურქეთში ხაზის გამორთვის შემდეგ იბლოკება ჩანართი და 50 წმ-ში ირთვება ორივე ფილტრის ამომრთველი. ყველაზე მძიმეა მე-4 და მე-5 გარდამავალი პროცესი, სადაც თურქეთში გადის 150 და 35 მგვტ. აქ სამივე ფაზის ძაბვის ამპლიტუდა აღწევს 647 კვ და ფილტრების გამორთვის შემდეგ 523 კვ-ს, ნახ.32 მაგრამ, 400 კვ ძაბვის, ძალოვანი ტრანსფორმატორის იზოლაციისათვის დასაშვები მაქსიმალური ძაბვაა 420 კვ, (ხაზური, ეფექტური) ანუ $U_{mg} = 343$ კვ ფაზური მყისა. თუ არ იქნება მიღებული სპეციალური ზომები კომპენსატორის დასამუხრუჭებლად, ის ინერციით იბრუნებს დიდხანს და დაუშვებლად მაღალი ძაბვა იქნება მოდებული 400 კვ სალტეებზე მიერთებულ აპარატურაზე. ასეთმა პროცესებმა შეიძლება იმდენად დაასუსტონ იზოლაცია, რომ მისი გარღვევა მოხდეს გამოსაცდელ ძაბვაზე გაცილებით დაბალი ძაბვის დროს.



ნახ. 32. ძაბვის ცვლილება ახალციხე 500 კვ ქვესადგურში 400 კვ-იან მხარეს სინქრონული კომპენსატორის გამოყენებისას

ძაბვის ცვლილების სულ სხვა სურათი გვექნება, თუ სინქრონული კომპენსატორების მაგივრად გამოყენებული იქნება სტატიკური სინქრონული კომპენსატორი (Statcom), ნახ.33.



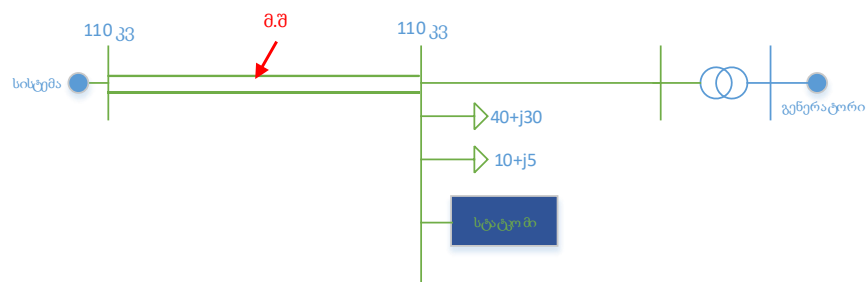
ნახ. 33. ძაბვის ცვლილება ახალციხე 500 კვ ქვესადგურში 400 კვ-იან მხარეს სტატკომის გამოყენებისას

ამ შემთხვევაში ფაზური ძაბვა მყისიერად გახდა დასაშვებ ძაბვაზე მეტი და შემდეგ პროცესი სწრაფად ქრება. სალტეზე მიერთებულ მოწყობილობებს საფრთხე არ ემუქრება. აქედან გამომდინარე შეგვიძლია გავაკეთოთ დასკვნა:

1. სტატიკური კომპენსატორის გამოყენება გამოიწვევს ძაბვის დაუშვებელ ზრდას;
2. მანქანური სინქრონული კომპენსატორები, რომელთა ექსპლუატაცია რთულია, საჭირო აღარ იქნება თუ გამოვიყენებთ სტატკომს;
3. სინქრონული კომპენსატორების სამი 400 კვ უჯრედის მაგივრად სტატკომისათვის საკმარისია ერთი.

2.3. სტატიკური კომპენსატორის გამოყენება დინამიკური მდგრადობის ასამაღლებლად

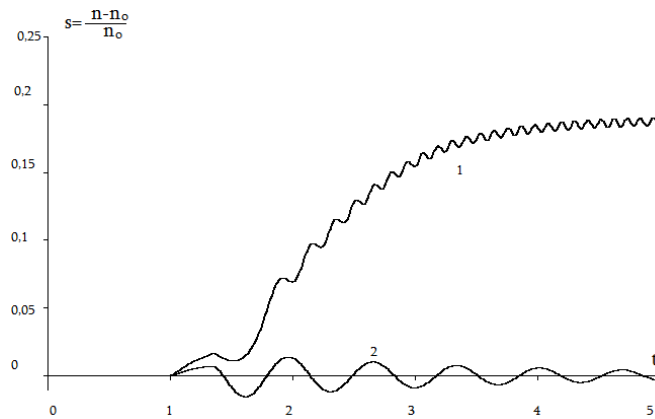
სტატიკური კომპენსატორი ამაღლებს გენერატორის დინამიკური მდგრადობის შენარჩუნებას. ქვემოთ მოყვანილ სქემაში ნახ.34 კომპენსატორი ჩართულია 110 კვ ძაბვის ქვესადგურის სალტებზე.



ნახ. 34. ელექტრული ქსელის ჩანაცვლების სქემა, სტატიკური კომპენსატორის გათვალისწინებით

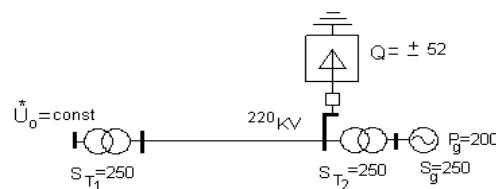
ქვესადგური დაკავშირებულია სისტემასთან ორი ხაზით. განვიხილოთ შემთხვევა, როცა ერთერთ ხაზზე მოხდა მოკლედ შერთვა და 0,35 წამში გამოირთო. განვიხილოთ ორი შემთხვევა: 1. სტატიკური კომპენსატორი ჩართულია; 2. სტატიკური კომპენსატორი გამორთულია. იმ შემთხვევაში როცა კომპენსატორი გამორთულია, მაშინ გენერატორის დინამიკური მდგრადობა ირღვევა, გენერატორის სრიალი ხდება დაუშვებლად დიდი (ნახ.35 მრუდი 1) და რელეური დაცვა გამორთავს გენერატორს. თუ კომპენსატორი ჩართულია, მაშინ მდგრადობა

შენარჩუნებულია. გენერატორის სრიალი რომოდენიმე წამში მიიღევა, მრუდი 2. [1]



ნახ. 35. გენერატორის სრიალის ცვლილება ეგზ ამორთვის დროს

სტატიკური კომპენსატორი აუმჯობესებს აგრეთვე სისტემის სტატიკურ მდგრადობას. ამაში შეიძლება დავრწმუნდეთ შემდეგი მაგალითის დახმარებით. ვთქვათ გვაქვს უმარტივესი სისტემა ნახ.36 სადაც ელექტროსადგური მუშაობს უსასრულოდ მძლავრ სისტემასთან პარალელურად.



ნახ. 36. ელექტრული ქსელის ჩანაცვლების სქემა

ამ სისტემაში შემავალი ელემენტების პარამეტრები შემდეგია: ტრანსფორმატორების მოკლედ შერთვის ძაბვაა $u_{kz} = 0,1$, ხაზის სიგრძეა $L=200$ კმ, გენერატორის სინქრონული წინაღობაა $X_{dn} = 1$ და გენერატორის ემ ძალაა $E = 1.3$. ბაზისურ სიმძლავრედ აღებულია $S_B = 100$ MVA. იმისათვის, რომ გამოვაჩინოთ კომპენსატორის გავლენა, ვიხილავთ

შემთხვევას, როცა გენერატორს არ გააჩნია სიჩქარის და ძაბვის რეგულატორები. დავიყვანოთ პარამეტრები ბაზისურ სიმძლავრეზე:

$$X_{T1} = X_{T2} = u_{kz} \frac{S_B}{S_n} = 0,1 \frac{100}{250} = 0,04$$

$$X_d = X_{dn} \frac{S_B}{S_n} = 1,0 \frac{100}{250} = 0,4$$

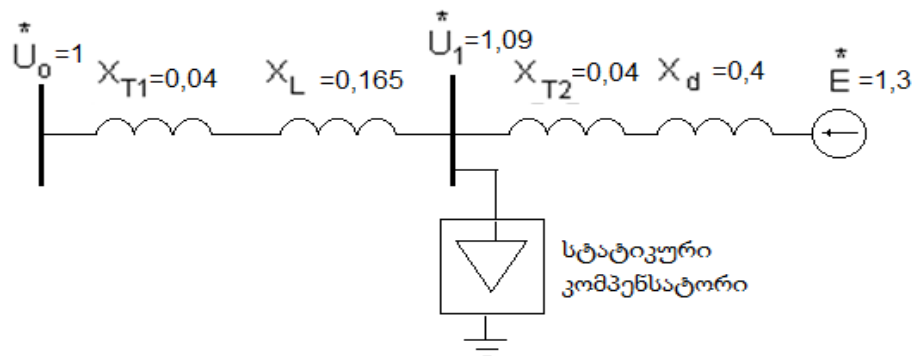
$$X_L = \frac{0,4 * L}{U^2} 100 = 0,165$$

აქ დაშვებულია, რომ ყველა ელემენტის აქტიური წინაღობა სიმცირის გამო ნულის

ტოლია. ძაბვა სისტემის სალტეზე უცვლელია როგორც სიდიდით ასევე კუთხით და უდრის

$U_o = 1$. მივიღეთ შემდეგი ჩანაცვლების სქემა, ნახ.37 თუ კომპენსატორი გამორთულია, მაშინ ამ გადაცემის სიმძლავრის მახასიათებელი იქნება.

$$P = \frac{E_d * U_o}{X_{\Sigma}} \sin \delta$$



ნახ. 37. სტატიკური კომპენსატორის გათვალისწინება ქსელში

სადაც $X_{\Sigma} = X_{T1} + X_L + X_{T2} + X_d = 0,04 + 0,165 + 0,04 + 0,4 = 0,645$.

სიმძლავრის მახასიათებლის მაქსიმუმი კი უდრის $P_{max} = \frac{E_d * U_o}{X_{\Sigma}} =$

$\frac{1,3 * 1}{0,645} = 2,015$ ფერდობთ ერთეულს. ეს სიდიდე გავამრავლოთ ბაზისურ სიმძლავრეზე (100 მგვტ) და გვექნება $2,015 * 100 = 201,5$ მგვტ. ეხლა ვნახოთ თუ როგორია სიმძლავრის მახასიათებელი კომპენსატორის ჩართვის

შემთხვევაში. კომპენსატორი უზრუნველყოფს მის მიერთების წერტილში ძაბვის სიდიდის მუდმივობას, $[U_1] = cons.$ სიმძლავრის მახასიათებლის ასაგებად გამოვიყენოთ ფორმულა

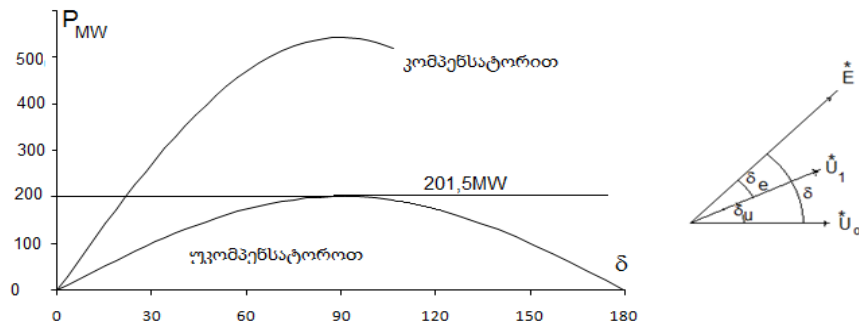
$$P = \frac{U_1 * U_0}{X_1} \sin \delta_u$$

სადაც $X_1 = X_{T1} + X_L$ და δ_u კუთხეა U_1 და U_0 ძაბვებს შორის. ყოველი δ_u კუთხეს შეესაბამება გადაცემული სიმძლავრის კონკრეტული სიდიდე. რადგან სიმძლავრე გადაეცემა გენერატორიდან, შეიძლება დავწეროთ $P = \frac{U_1 * E_d}{X_{12}} \sin \delta_e$. აქ კი $X_{12} = X_{T2} + X_d$.

ვცვალოთ δ_u კუთხე 5 გრადუსიანი ბიჯით და გავიგოთ შესაბამისი P . ამის შემდეგ შგვიძლია გავიგოთ კუთხე E_d ემ ძალასა და U_1 ძაბვას შორის

$$\delta_e = \arcsin \frac{PX_2}{U_1 E_d}$$

მაშასადამე კუთხე E_d ემ ძალასა და U_0 ძაბვას შორის იქნება $\delta = \delta_u + \delta_e$. მაშასადამე ყოველ P სიმძლავრეს შეესაბამება გარკვეული δ კუთხე. ეს კი სხვა არაფერია როგორც სიმძლავრის მახასიათებელი ნახ.38. [1]

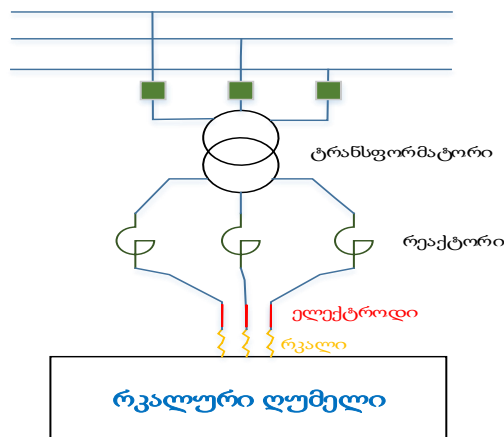


ნახ. 38. სიმძლავრის მახასიათებელი კომპენსატორით და უკომპენსატორით

2.4 სტატიკური სინქრონული კომპენსატორის გამოყენება ძაბვის ბიძგების კომპენსაციისათვის

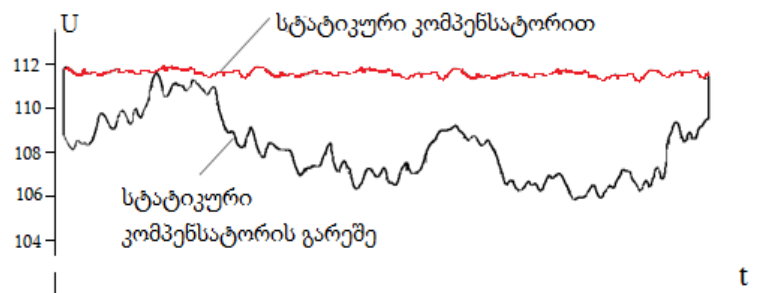
მეტალურგიულ საწარმოში სადაც გამოიყენება რკალური ღუმლები ადგილი აქვს ძაბვის მკვეთრ ცვლილებას, რაც გამოწვეულია ფოლადის დნობის პროცესით კერძოდ, ამ დროს ადგილი აქვს მოკლედ შერთვას რაც

გამოწვეულია ელექტროდების ლითონთან შეხებით და რკალის წყვეტით, რაც იწვევს დენის ცვლილებას, შედეგად იცვლება საწარმოს მიერ მოთხოვნილი რეაქტიული სიმძლავრის სიდიდე. ამ დროს კი სადაც მიერთებულია ეს საწარმო იმ სალტეზე ძაბვის სიდიდე მკვეთრად იცვლება. ნახ.39-ზე წარმოდგენილია რკალური ღუმლის ელექტრულ სისტემასთან მიერთების პრინციპიალური სქემა.



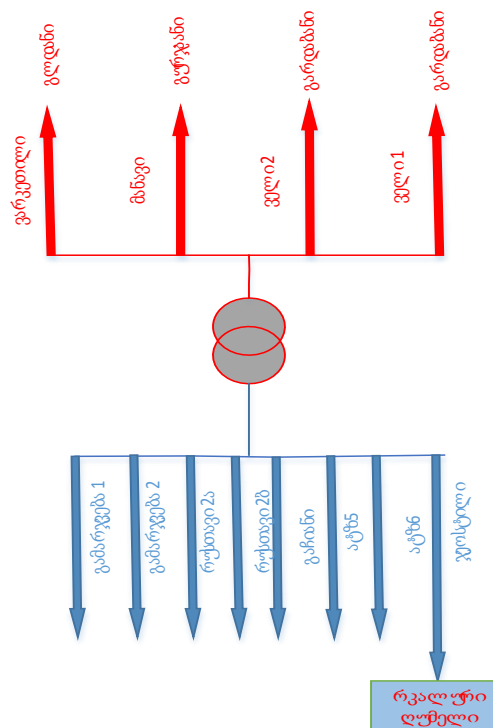
ნახ. 39. რკალური ღუმლის ელექტრულ სისტემასთან მიერთების პრინციპიალური სქემა

ნახ.40-ზე წარმოდგენილია საფრანგეთის შავი მეტალურგიის ერთ-ერთი საწარმოს მიერ მუშაობით გამოწვეული ძაბვის ცვლილება სტატკომის გამოყენებით და მისი არ ქონის შემთხვევაში. როგორც ამ ნახაზიდან ვხედავთ ძაბვა საკმაოდ დიდ ფარგლებში იცვლება როდესაც სტატკომი გამორთულია ხოლო სტატკომის მუშაობის დროს ძაბვის ცვლილება უმნიშვნელოა.



ნახ. 40. მეტალურგიის საწარმოს მიერ მუშაობით გამოწვეული ძაბვის ცვლილება

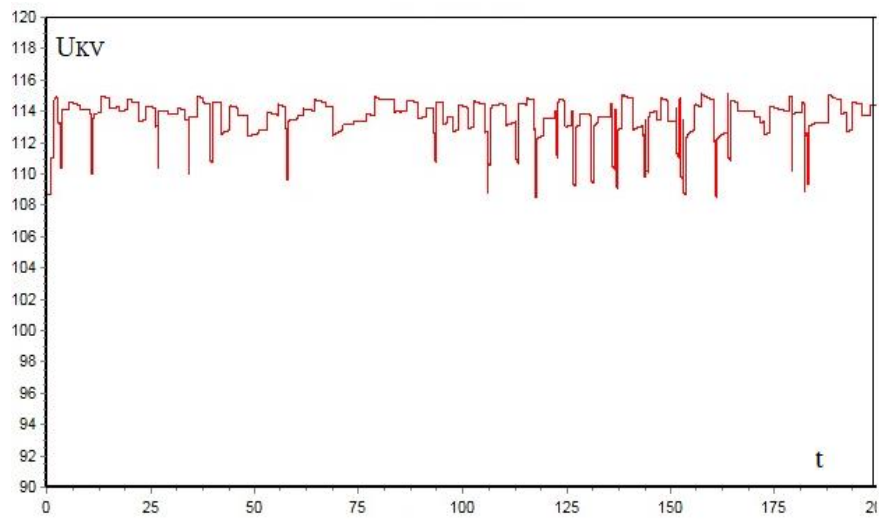
საქართველოს ელექტრულ სისტემაში რუსთავი 220 კვესადგურში 110 კვ სალტიდან ეგზ.ჯეოსთილით ნახ.33 იკვებება მეტალურგიის საწარმო სადაც დამონტაჟებულია რკალური ღუმლები და შესაბამისათვის მისი მუშაობა იწვევს ძაბვის მკვეთრ ცვლილებას, ეს ცვლილება კი უფრო მეტად საგრძნობია როდესაც სისტემა იზოლირებულ რეჟიმში მუშაობს. ამავე სალტზე მიერთებულია რამოდენიმე მომხმარებელი, რომლისთვისაც ძაბვის ცვლილება არასასურველი მოვლენაა და აუარესებს ენერჯის ხარისხს. ნახ.41-ზე წარმოდგენილია რუსთავი 220 კვ ქვესადგურის ცალხაზოვანი სქემა.



ნახ. 41. რუსთავი 220 კვ ქვესადგურის ცალხაზოვანი სქემა

მოდელირებისთვის გამოყენებული იქნა საინჟინრო პროგრამა PSS/E . განხილულია საქართველოს ელექტრული სისტემა მინიმალური დატვირთვის დროს როდესაც მეზობელ სისტემებთან იზოლირებ რეჟიმში მუშაობს. როგორც ვხედავთ ძაბვა იცვლება საკმაოდ დიდ ფარგლებში 109

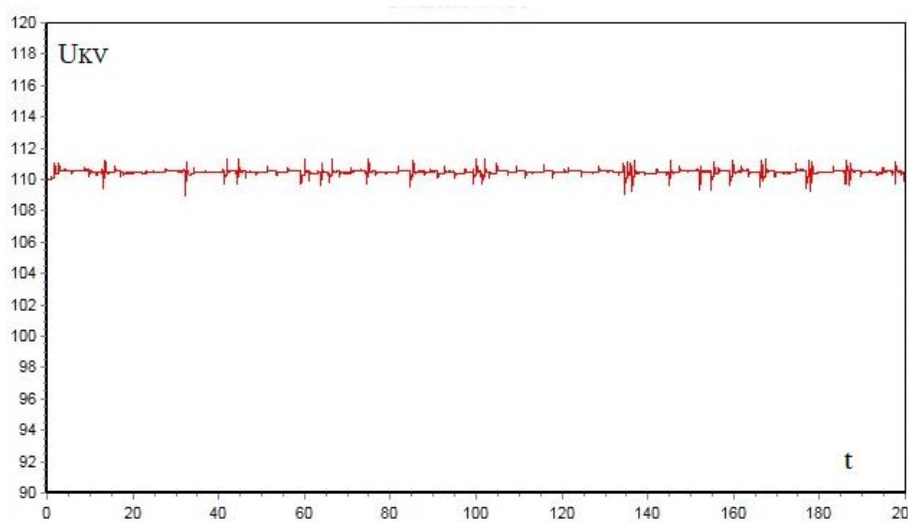
კვ-დან 115 კვ-მდე ნახ.42 რაც უარყოფითად მოქმედებს ამავე სალტეზე მიერთებულ სხვა მომხმარებლებზე.



ნახ. 42. ძაბვის ცვილების მრუდი რუსთავი 220 კვ ქვესადგურის 110 კვ ძაბვის მხარეს

იმ შემთხვევაში თუ ქვესადგურ რუსთავი 220-ში 110 კვ ძაბვის მხარეს დამონტაჟებული იქნება სტატიკური სინქრონული კომპენსატორი ის მყისიერად მოქმედებს ძაბვის ცვლილებაზე და ასწორებს ძაბვის ბიძგებს.

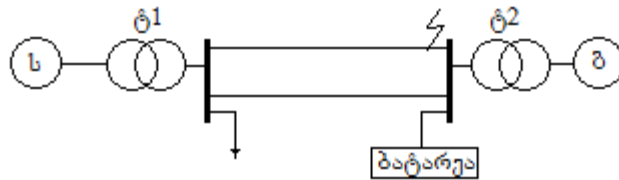
ნახ.43



ნახ. 43. ძაბვის ცვილების მრუდი რუსთავი 220 კვ ქვესადგურის 110 კვ ძაბვის მხარეს სტატკომის გამოყენებისას

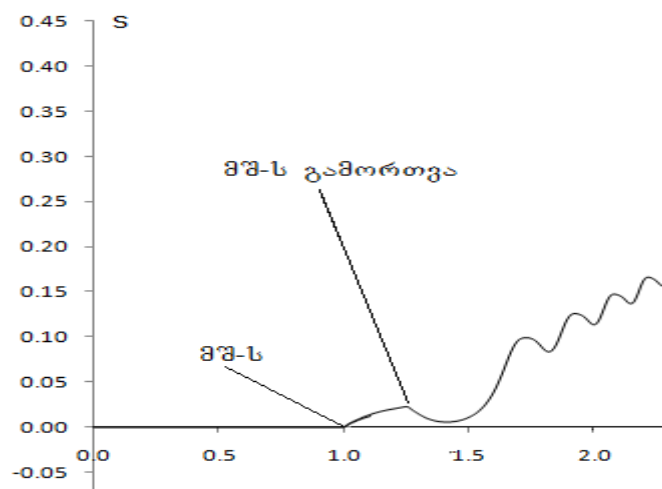
2.5 ენერჯის დამაგროვებლის გავლენა დინამიკურ მდგრადობაზე

ვიხილავთ გარდამავალ პროცესს გამოწვეულის მოკლედ შერთვით ერთ-ერთ 110 კვ ძაბვის გადაცემის ხაზზე. განვიხილოთ შემდეგი სქემა ნახ.44



ნახ. 44. ელექტრული ქსელის ჩანაცვლების სქემა

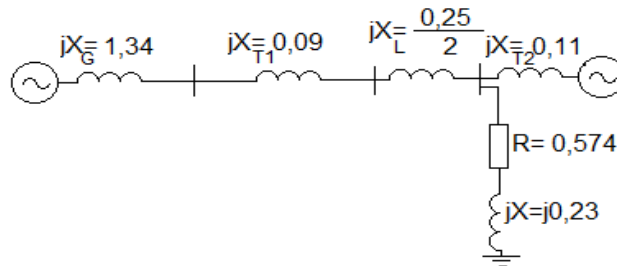
მოკლე შერთვის შუნტის წინაღობა აღებულია 10 ომის ტოლად (0.082 ფარდობით ერთეულებში), რაც შეესაბამება ორფაზა მოკლედ შერთვას. მოკლე შერთვის ხანგრძლივობაა 0,25 წამი, რის შემდეგ დაზიანებული ხაზი გამოირთვება. მოდელირება ჩატარდა PSS/E პროგრამის საშუალებით. გამოირკვა რომ მდგრადობა ირღვევა ეს ჩანს ნახ.45-დან, სადაც ნაჩვენებია გ-გენერატორის სრიალი.



ნახ. 45. გენერატორის სრიალის ცვლილება ეგხ-ზე მოკლედ შერთვის დროს დავადგინოთ მდგრადობის დარღვევის მიზეზი.

1. ნორმალური რეჟიმი

საწყისი ნორმალური რეჟიმის ჩანაცვლების სქემას აქვს შემდეგი სახე ნახ.46



ნახ. 46. დამყარებული რეჟიმის ჩანაცვლების სქემა

$$\text{აღვნიშნოთ } X_{\Sigma} = X_G + X_{T1} + X_L = 1,34 + 0,09 + \frac{0,25}{2} = 1,555$$

ვიანგარიშოთ სადგურის საკუთარი და ურთიერთ წინააღობები.

გენერატორის საკუთარი წინააღობაა:

$$Z_{11} = jX_{\Sigma} + \frac{jX_{T2}((R+jX))}{R+jX+jX_{T2}} = 0,0155 + j1,655$$

$$|Z_{11}| = \sqrt{0,0155^2 + 1,655^2} = 1,655,$$

$$\psi_{11} = \text{arc tan} \frac{1,655}{0,0155} = 1,56 \text{ რად}$$

შემავსებელი კუთხე:

$$\alpha_{11} = 1,57 - \psi_{11} = 0,02.$$

გენერატორის ურთიერთ წინააღობა კი არის:

$$\begin{aligned} Z_{12} &= jZ_{\Sigma} + jX_{T2} + \frac{jZ_{\Sigma} * jX_{T2}}{R + jX + jX_{T2}} = j1,555 + j0,11 + \frac{j1,555 * j0,11}{0,574 + j0,23} \\ &= -0,25 + j1,755. \end{aligned}$$

$$|Z_{12}| = \sqrt{-0,25^2 + 1,755^2} = 1,77,$$

$$\psi_{11} = \text{arc tan} \frac{1,655}{0,0155} = 1,556 \text{ რად}$$

შემავსებელი კუთხე:

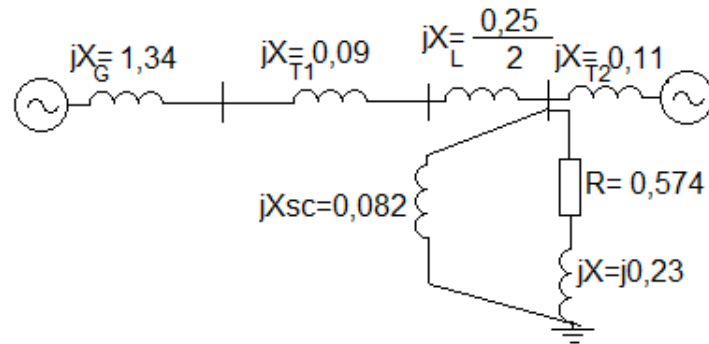
$$\alpha_{11} = 1,57 - \psi_{11} = -0,014.$$

საწყისი ნორმალური რეჟიმის სიმპლავრის მახასიათებელი გამოსახება შემდეგი ფორმულით:

$$P_1 + E^2 Y_{11} \sin \alpha_{11} + E * U Y_{12} \sin(\delta - \alpha_{12}) = 0,02 + 0,86 * \sin(\delta + 0,014)$$

2. ორფაზა მოკლედ შერთვის რეჟიმი

ორფაზა მოკლედ შერთვის დროს ჩანაცვლების სქემას ექნება შემდეგი სახე ნახ.47



ნახ. 47. ორფაზა მოკლედ შერთვის დროს ჩანაცვლების სქემა

აღვნიშნოთ $Z_k = \frac{j0,082*(0,574+j0,23)}{0,574+j0,23+j0,082} = 0,009 + j0,007.$

საკუთარი წინაღობა

$$Z_{11} = jX_{\Sigma} + \frac{jX_k((R + jX))}{R + jX + jX_k} = 0.0029 + j1,6$$

$$|Z_{11}| = \sqrt{0.0029^2 + 1,6^2} = 1,6,$$

$$\psi_{11} = \arctan \frac{1,6}{0,0029} = 1,568 \text{ რად}$$

შემავსებელი კუთხე

$$\alpha_{11} = 1.57 - 1,568 \approx 0$$

ურთიერთ წინაღობა კი არის

$$Z_{12} = jZ_{\Sigma} + jX_{T2} + \frac{jZ_{\Sigma} * jX_{T2}}{Z_k} = j1.555 + j0,11 + \frac{j1.555 * j0,11}{0.009 + j0.007}$$

$$= -0,171 + j3,85.$$

$$|Z_{12}| = \sqrt{-0.171^2 + 3,85^2} = 3,88,$$

$$\psi_{12} = \arctan \frac{3,85}{0,171} = 1,569 \text{ რად}$$

შემავსებელი კუთხე:

$$\alpha_{11} = 1.57 - \psi_{12} \approx 0$$

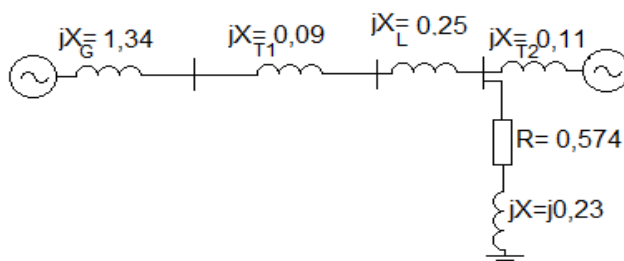
მოკლე შერთვის რეჟიმის სიმძლავრის მახასიათებელი გამოისახება

შემდეგი ფორმულით:

$$P_1 + E^2 Y_{11} \sin \alpha_{11} + E * U Y_{12} \sin(\delta - \alpha_{12}) = 0.388 * \sin(\delta)$$

3. ავარიის შემდგომი რეჟიმი

ჩანაცვლების სქემას ექნება შემდეგი სახე ნახ.48.



ნახ. 48. ავარიის შემდგომი ჩანაცვლების სქემა

შტოს წინაღობა

$$X_{\Sigma} = X_G + X_{T1} + X_L = 1,34 + 0,09 + 0,25 = 1,68$$

$$Z_{11} = jX_{\Sigma} + \frac{jX_{T2}((R + jX))}{R + jX + jX_{T2}} = 0,0155 + j1,78$$

$$|Z_{11}| = \sqrt{0,0155^2 + 1,78^2} = 1,78$$

$$\psi_{11} = \arctan \frac{1,78}{0,0155} = 1,562 \text{ რად}$$

შემავსებელი კუთხე იქნება

$$\alpha_{11} = 1,57 - \psi_{11} = 0,008.$$

ურთიერთ წინაღობა

$$Z_{12} = jZ_{\Sigma} + jX_{T2} + \frac{jZ_{\Sigma} * jX_{T2}}{R + jX} = j1,78 + j0,11 + \frac{j1,78 * j0,11}{0,574 + j0,23} = -0,227 + j1,9.$$

$$|Z_{12}| = \sqrt{-0,227^2 + 1,9^2} = 1,91$$

$$\psi_{11} = -\arctan \frac{1,9}{0,227} = -1,426 \text{ რად}$$

შემავსებელი კუთხე

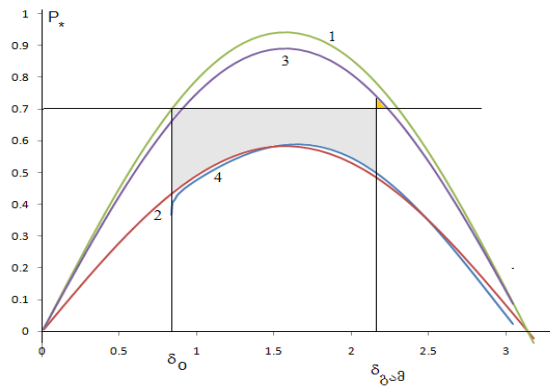
$$\alpha_{11} = 1,57 - \psi_{11} = -0,143$$

ავარიის შემდგომი რეჟიმის სიმძლავრის მახასიათებელი გამოისახება

შემდეგი ფორმულით:

$$P_1 + E^2 Y_{11} \sin \alpha_{11} + E * U Y_{12} \sin(\delta - \alpha_{12}) = 0,789 * \sin(\delta + 0,143)$$

იმ შემთხვევაში როცა ბატარეა არ არის ჩართული, გვაქვს შემდეგი სიმძლავრის მახასიათებლები.

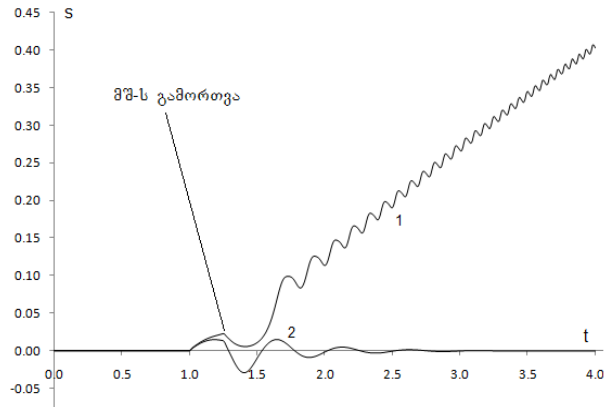


ნახ. 49. სიმძლავრის მახასიათებელი ნორმალური, მოკლედ შერთვის და ხაზის გამორთვის შემდგომი რეჟიმებისთვის

ნახ.49-ზე მოყვანილია ნორმალური რეჟიმის 1-მრუდი, მოკლედ შერთვის შესაბამისი 2-მახასიათებელი და ხაზის გამორთვის შემდგომი რეჟიმის მახასიათებელი-3.

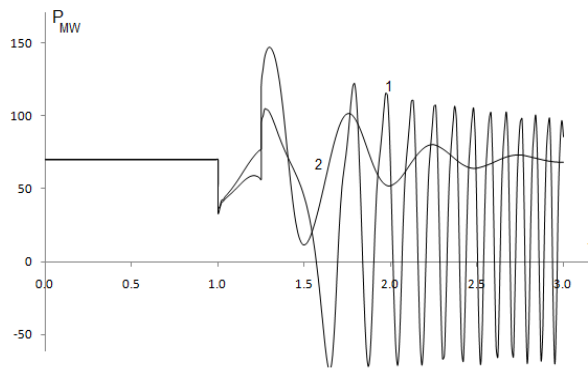
ვინაიდან ეს მახასიათებლები აღებულია გარკვეული დაშვებით, ჩვენ ავაგეთ მოკლედ შერთვის შესაბამისი მრუდი 4. როგორც ვხედავთ ეს მრუდი საკმაო სიზუსტით დაემთხვა 2-მრუდს. მოკლე შერთვის გამორთვის მომენტისათვის გენერატორის როტორის კუთხე გახდა $\delta_{გამ} = 2,12$ რადიანის ტოლი. აჩქარების ფართი (ნაჩვენები რუხი ფერით) გამოვიდა საკმაოდ დიდი. დამუხრუჭების ფართი კი პრაქტიკულად არ არსებობს (ნაჩვენებია ყვითელი ფერით). მდგრადობის შენარჩუნება შეუძლებელია.

კვლევის შემდეგ ეტაპზე გენერატორთან ახლოს ჩავრთეთ ენერჯის დამაგროვებელი ბატარეა. ბატარეის სიმძლავრე 75 მვა-ა. ბატარეის მინიმალური ძაბვა 3 კვ და ის მიერთებულია ქსელთან ტრანსფორმატორის მეშვეობით. ისევ ჩატარდა მოდელირება PSS/E პროგრამის საშუალებით. ამჯერად მდგრადობა შენარჩუნებულია. რეზულტატები ნაჩვენებია შემდეგ ნახაზებზე. ნახ.50-ზე ნაჩვენებია გენერატორის სრიალის ცვლილება. 1-მრუდი ბატარეის გარეშე, 2-მრუდი ბატარეის გამოყენებით.



ნახ. 50. გენერატორის სრიალის ცვლილება ბატარეით და ბატარეის გარეშე

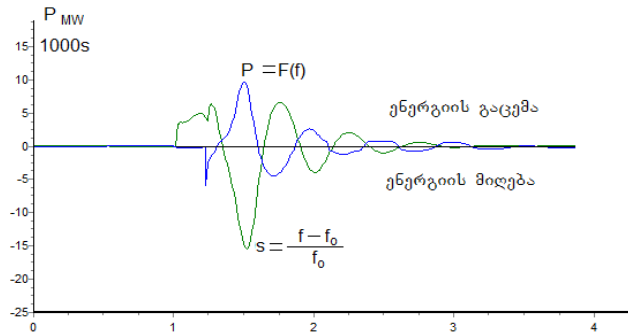
ნახ.51-ზე ნაჩვენებია გენერატორის აქტიური სიმძლავრის ცვლილება. 1-მრუდი შეესაბამება გამორთულ ბატარეას, 2-მრუდი ჩართულს. ჩართული ბატარეის დროს. გენერატორის რყევები მიიღევა საკმაოდ სწრაფად.



ნახ. 51. აქტიური სიმძლავრის ცვლილება

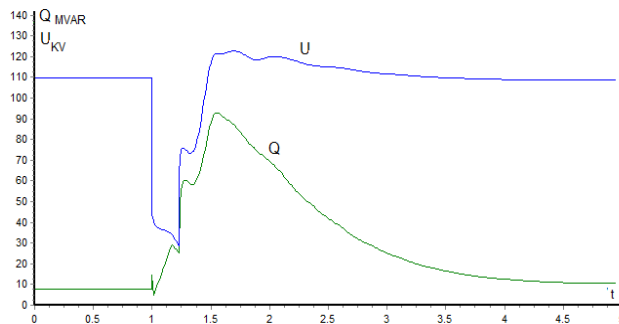
ბატარეის აქტიური სიმძლავრე კი იცვლება ნახ.52-ზე წარმოდგენილი მრუდის შესაბამისად. მოკლედ შერთვის პერიოდში ბატარეა იტენება (მისი სიმძლავრე - ნიშნითაა) ანუ ქმნის გენერატორისთვის დამატებით ტვირთს, ეს დადებითია, რადგან ხელს უშლის სიხშირის ზრდას, ამავე ნახაზზე ნაჩვენებია სიხშირის გადახრა ფარდობით ერთეულებში გამრავლებული 1000. როგორც კი სიხშირის გადახრა ხდება უარყოფითი, ანუ სიხშირე ხდება 50 ჰერცზე ნაკლები ბატარეა იწყებს სიმძლავრის გაცემას, და პირიქით 50 ჰერცზე მეტი სიხშირის დროს ბატარეა იღებს აქტიურ სიმძლავრეს ანუ

ქმნის დამატებით ტვირთს ქსელისათვის, ეს ყველაფერი ამცირებს სიხშირის რყევებს.



ნახ. 52. ბატარეას აქტიური სიმძლავრის ცვლილება

გარდა ამისა ბატარეა მუშაობს როგორც რეაქტიული სიმძლავრის წყაროც. ნახ.53-ზე ნაჩვენებია ბატარეის რეაქტიული სიმძლავრის და ქსელის ძაბვის ცვლილება



ნახ. 53. ბატარეის რეაქტიული სიმძლავრის და ქსელის ძაბვის ცვლილება

როგორც ვხედავთ ბატარეა საკმაოდ სწრაფად აღადგენს ძაბვის ნორმალურ სიდიდეს. ძაბვის სწრაფი აღდგენა ზრდის დატვირთვის სიდიდეს და მით უფრო ტვირთავს გენერატორს და ამცირებს რყევებს.

2.6 ენერჯის დამაგროვებლის გამოყენება სიხშირის რყევების ჩასაქრობად

ელექტრულ სისტემაში ადგილი აქვს მოხმარების ქაოსურ ცვლილებას შედარებით მცირე ფარგლებში. ეს იწვევს სიხშირის რყევას 50

ჰერცის მახლობლობაში. იმის და მიხედვით თუ როგორ არის აღჭურვილი სისტემის გენერატორები სიჩქარის რეგულატორებით და როგორ ხდება სიხშირის რეგულირება, სიხშირის გადახრა 50 ჰერციდან იქნება მეტი ან ნაკლები.

ჩვენი მიზანია შევისწავლოთ რა გავლენა ექნება ენერჯის დამაგროვებლის ჩართვას სისტემაში სიხშირის მუდმივობის თვალსაზრისით.

სისტემის იძულებული მოძრაობის განტოლებაა:

$$T_j \frac{ds}{dt} = \frac{P_{meq}}{1+s} - P_{el}$$

სადაც:

T_j -სისტემის ჯამური ინერციის მუდმივაა;

P_{meq} -სისტემის გენერატორების ჯამური მექანიკური სიმძლავრეა;

P_{el} -სისტემის ჯამური ტვირთია;

$s = \frac{f-f_0}{f_0}$ კი სრიალია $f_0 = 50$ ჰერცს.

თუ სისტემის ტვირთი გაიზრდება რაღაც ΔP_{el} სიდიდით, მაშინ სისტემის სიხშირე დაიწყებს შემცირებას, სრიალი გახდება უარყოფითი და რეჟიმი დამყარდება როცა

$$\frac{P_{meq}}{1+s} = P_{el} + \Delta P_{el}.$$

სიხშირე იქნება 50 ჰერცსზე ნაკლები. იმისათვის, რომ სიხშირე გახდეს ისევ 50 ჰერცი, საჭიროა გავზარდოთ სისტემის გენერატორების მექანიკური სიმძლავრე ანდა შევიყვანოთ სისტემაში ΔP_{el} -ის ტოლი აქტიური სიმძლავრე ენერჯის დამაგროვებლიდან. ამ შემთხვევაში სისტემის იძულებული მოძრაობის განტოლება მიიღებს სახეს

$$T_j \frac{ds}{dt} = \frac{P_{meq}}{1+s} + Kt - P_{el} - \Delta P_{el}$$

აქ K -არის დამაგროვებლის მიერ სიმძლავრის გაცემის სიჩქარე.

თუ ჩვენ მოვითხოვთ, რომ სიხშირე შეიცვალოს ძალიან მცირედ, ვთქვათ არანაკლები 49,9 ჰერცისა და მერე ისევ გაიზარდოს 50 ჰერცამდე, მაშინ სრილის მინიმალური მნიშვნელობა იქნება

$$s_{min} = \frac{49,9-50}{50} = -0,002.$$

ანუ

$$\frac{P_{meq}}{1+s} \approx P_{meq}.$$

საწყის რეჟიმში $P_{meq} = P_{el}$ და განტოლება მიიღებს შემდეგ სახეს

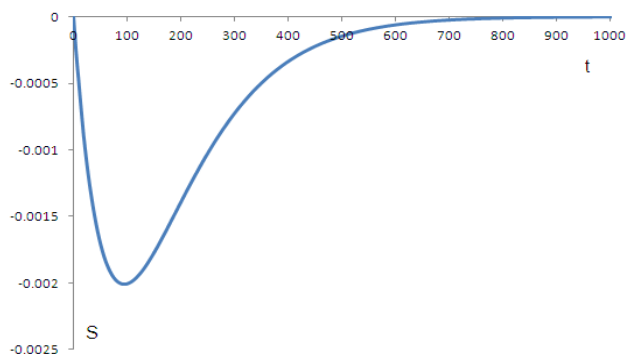
$$T_j \frac{ds}{dt} = Kt - \Delta P_{el}$$

როდესაც დამაგროვებლის მიერ გაცემული სიმძლავრე Kt გაუტოლდება დატვირთვის ნაზრდს ΔP_{el} , სრიალი მიაღწევს თავის მინიმალურ მნიშვნელობას რადგან წარმოებული გახდება ნულის ტოლი $\frac{ds}{dt} = 0$. ეს $s = f(t)$ ფუნქციის მინიმუმის პირობაა.

ვთქვათ, რომ მოცემული P_{meq}, P_{el}, T_j და ΔP_{el} -სათვის ჩვენ გვინდა გავიგოთ რა სიჩქარით უნდა იზრდებოდეს დამაგროვებლის მიერ გაცემული სიმძლავრე, რომ სრიალი არ გახდეს $-0,002$ ზე ნაკლები. ანგარიშს ვატარებთ ფარდობით ერთეულებში. ბაზისური სიმძლავრეა $S_B=100MVA$, $t_B = 314$ რად.

სისტემის მონაცემები

$T_j = 250 \text{ sec}$, ფარდობით ერთეულებში $T_j = 250 * 314$ რადიანი, $P_{meq} = 1500MW$, ფარდობით ერთეულებში $P_{meq} = \frac{1500}{100} = 15$ ფე. $\Delta P_{el} = 30MW$, ფარდობით ერთეულებში $0,3$ ფე. მოვითხოვთ, რომ სიხშირის ცვლილება იყოს ისეთი, როგორც ეს ნაჩვენებია ნახ.54-ზე.



ნახ. 54. სიხშირის ნაზრდის ცვლილების მრუდი

ეს მრუდი მიღებულია შემდეგი ემპირიული ფორმულის საფუძველზე

$$s = (e^{\frac{-t}{T_1}} - e^{\frac{-t}{T_2}}) \text{ აქ } T_2 > T_1 \text{ .სრიალის მინიმუმის შესაბამისი დროის}$$

საპოვნელად გავაწარმოთ გამოსახულება და გავუტოლოთ ნულს.

$$\frac{ds}{dt} = -\frac{1}{T_1} e^{\frac{-t}{T_1}} + \frac{1}{T_2} e^{\frac{-t}{T_2}} = 0. \text{ ანუ } \frac{1}{T_1} e^{\frac{-t}{T_1}} = \frac{1}{T_2} e^{\frac{-t}{T_2}}. \text{ აქედან } \frac{T_2}{T_1} = \frac{e^{\frac{-t}{T_2}}}{e^{\frac{-t}{T_1}}} \text{ ან } \frac{T_2}{T_1} =$$

$$e^{t(\frac{1}{T_1} - \frac{1}{T_2})}$$

$$\ln \frac{T_2}{T_1} = t \left(\frac{1}{T_1} - \frac{1}{T_2} \right). \text{ სრიალის მინიმუმის შესაბამისი დრო არის}$$

$$t_{min} = \frac{\ln \frac{T_2}{T_1}}{\frac{1}{T_1} - \frac{1}{T_2}}. \text{ ჩვენ შემთხვევაში } T_1 = 0,3 * 314 = 94,2 \text{ რადიანი და}$$

$$T_2 = 0,30164 * 314 = 94,71496 \text{ რადიანი. } t_{min} = \frac{\ln \frac{94,71496}{94,2}}{\frac{1}{94,2} - \frac{1}{94,71496}} = 92 \text{ რად. ანუ}$$

$$\frac{92}{314} = 0,2929 \text{ წმ.}$$

$$\text{რადგან ეს სრიალის მინიმუმია, მაშასადამე } T_j \frac{ds}{dt} = K t_{min} - \Delta P_{el} = 0.$$

$$\text{აქედან } K = \frac{\Delta P_{el}}{t_{min}} = \frac{0,3}{92} = 0,0032. \text{ ეს არის სიმძლავრის ფარდობითი}$$

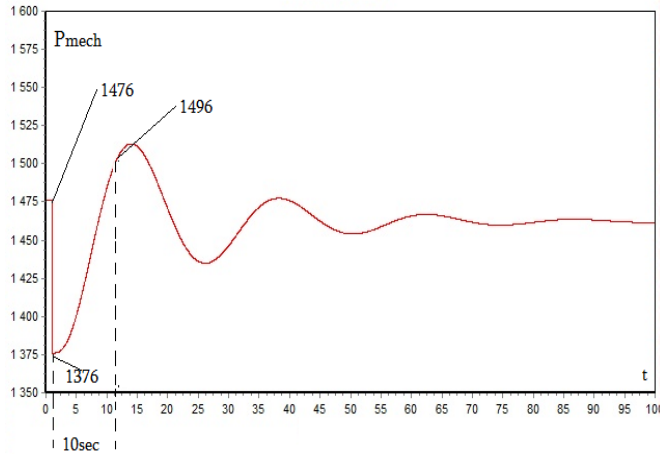
ერთეული დროის ფარდობით ერთეულში. გადავიყვანოთ მეგავატი/წამში.

$$K = 0,0032 \frac{S_B}{t_B} = 0,0032 \frac{100}{314} = 100,48 \text{ მგვტ/წამ. მაშასადამე}$$

სისტემაში შემავალმა გენერატორებმა უნდა განავითარონ სიმძლავრის ალების ასეთი სიჩქარე, რომ სიმძლავრე არ ჩამოვიდეს 49,9 ჰერცზე ქვევით. თუ სისტემის ტვირთი გაიზარდა არა 30 მეგავატით არამედ 50 მეგავატით, სიმძლავრის ალების სიჩქარე უნდა იყოს 170 მგვტ/წამი. 100 მგვტ ნახტომის შემთხვევაში კი 340 მგვტ/წამი. ასეთი დიდი სიჩქარეების მისაღწევად სისტემაში უნდა იყოს ძალიან დიდი მზრუბავი რეზერვი.

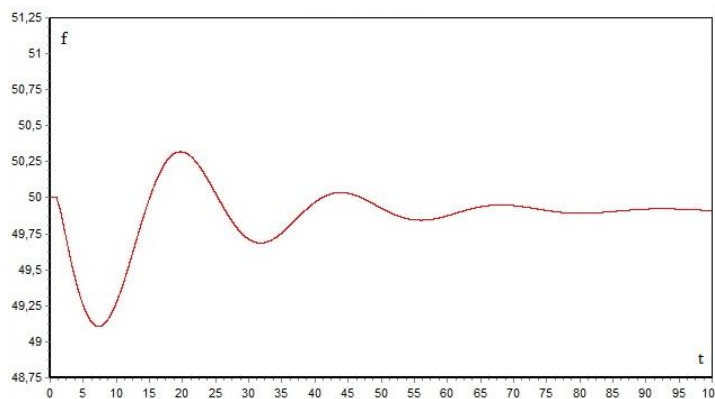
მაგალითისათვის, მოდელირებული იყო საქართველოს ელექტროსისტემის რეჟიმი, ჯამური ტვირთით 1312 მგვტ და ჯამური გენერაციით 1476 მგვტ. ექსპორტი თურქეთში იყო 150 მგვტ. ოთხ

სადგურზე არსებობდა მბრუნავი რეზერვი: ენგურჰესზე-550 მგვტ; ხრამი-1 ზე-90 მგვტ; ხრამი-2 68 მგვტ და ჟინვალჰესზე-96 მგვტ. ჯამში სისტემაში მბრუნავი რეზერვი შეადგენდა 804 მგვტს.



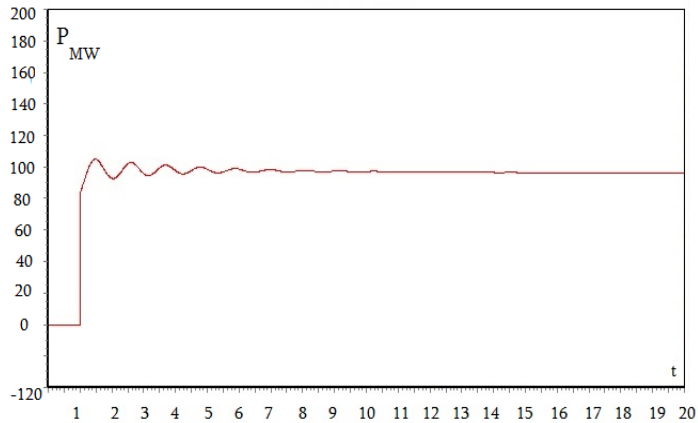
ნახ. 55. გენერირებული ჯამური აქტიური სიმძლავრის მრუდი

ასეთ პირობებში, გარდაბანში გამოირთო გენერატორი, რომლის ტვირთი იყო 100 მგვტ. ზემოთხსენებულმა სადგურებმა სიჩქარის რეგულატორების მოქმედებით გაზარდეს თავისი მექანიკური სიმძლავრე ნახ.55 სიმძლავრის ზრდის საშუალო სიჩქარე 12 მგვტ/წმ-ია. ნახ.56 სიხშირე ამ დროს შემცირდა 49,1 ჰერცამდე, ნახ.3 ეს გამოიწვევდა სიხშირით განტვირთვის ამოქმედებას.

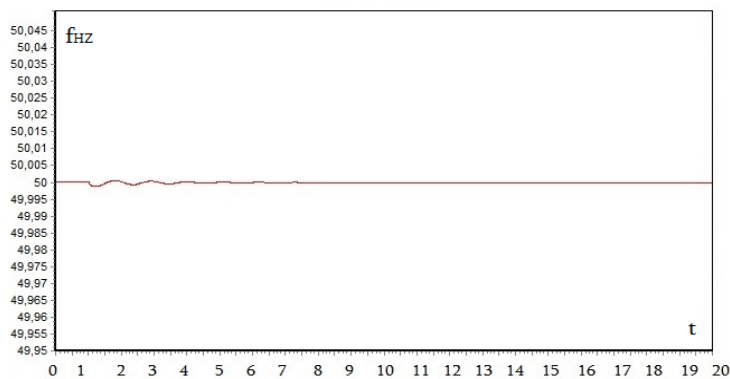


ნახ. 56. თბო ბლოკის გამორთვით გამოწვეული სიხშირის ცვლილება

სულს ხვა სურათი გვექნება ენერჯის დამაგროვებლის გამოყენების შემთხვევაში. თუ ჰიდროსადგურებმა 100 მგვტ დანაკლისი აიღეს 8-9 წამში, დამაგროვებელმა ეს სიმძლავრე გასცა 0,02 წამში ნახ.57 სიხშირე პრაქტიკულად არ შეიცვალა, ნახ.58



ნახ. 57. ელექტრული ენერჯის დამაგროვებლის მიერ აქტიური სიმძლავრის გენერირება



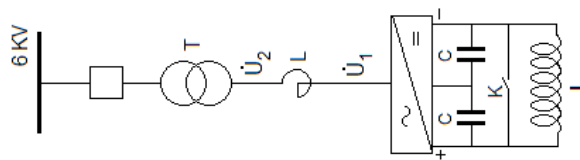
ნახ. 58. სიხშირე ენერჯის დამაგროვებლის გამოყენების შემთხვევაში

2.7. ზეგამტარული ენერჯის დამაგროვებლის გავლენა ელექტრული სისტემის მუშაობაზე

ელექტრული ენერჯის აკუმულირების ერთ-ერთი საშუალებაა მისი დაგროვება მაგნიტური ველის ენერჯის სახით. კოჭის მაგნიტური ველის ენერჯის სიდიდე გამოითვლება შემდეგი ფორმულით: $E = \frac{LI^2}{2}$ ჯ. დიდი ინდუქციურობის მიღება შეიძლება კოჭის ხვიათა დიდი რაოდენობით.

დენის დანაკარგების უგულებელყოფა შეიძლება მივიღოთ ზეგამტარ სადენში.

შეერთებულ შტატებში ფირმა „American Superconductor“ შექმნა მოწყობილობა D-SMES რომლის საშუალებით 20 მგვტ.სთ ტოლი ენერჯის დაგროვება შეუძლია. ამ მოწყობილობის გამარტივებული სქემა ნაჩვენებია ნახ.59-ზე. მოწყობილობა შედგება L ინდუქციურობის მქონე ზეგამტარ კოჭისგან, ტევადობისგან და ტრანზისტორული ინვერტორ გამმართველისგან. თუ K ჩამრთველი ჩაკეტილია, დენი კოჭაში გაივლის უსასრულო დროის განმავლობაში. ჩამრთველის გახსნის მომენტიდან იწყება ენერჯის გაცემა ქსელში. 2003 წელს ვისკონსინის შტატში დადგმული იყო 6 ასეთი მოწყობილობა და ეკონომიკურმა ეფექტმა მიაღწია მიაღწია 3,2 მილიონ დოლარს, ეს მიღწეულია მომხმარებლისთვის მიწოდებული ელექტრული ენერჯის ხარისხის ამაღლების ხარჯზე. ვინაიდან ენერჯის დამაგროვებელი უინერცია, მას შეუძლია აქტიური და რეაქტიული ენერჯის გაცემა მყისიერად და ამით გააუმჯობესოს ელექტრული ენერჯის ძაბვის და სიხშირის პარამეტრები. [1]

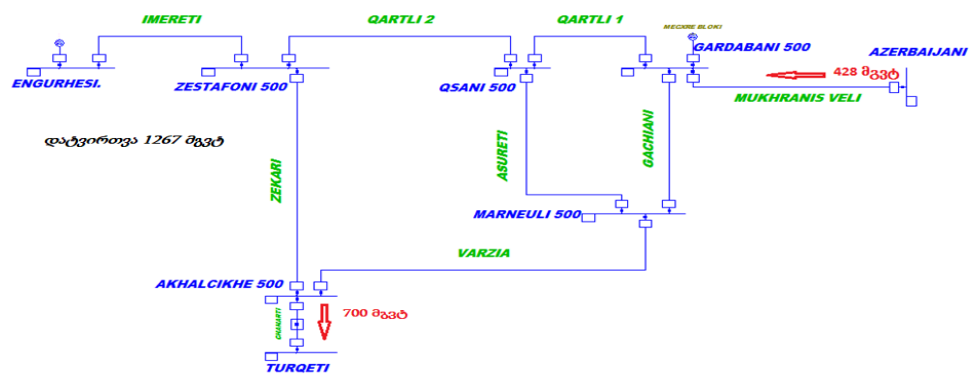


ნახ. 59. ზეგამტარული ენერჯის დამაგროვებლის გამარტივებული ელექტრული სქემა

ზემოთ აღწერილ დამაგროვებელს შეუძლია გასცეს 20 მგვტ 1 საათის განმავლობაში, 10 მგვტ 2 საათის განმავლობაში ან 400 მგვტ 100 წამის განმავლობაში. ასეთი დამაგროვებელი ძალიან სასარგებლო იქნება საქართველოს ელექტრული სისტემის მუშაობის იმედიანობის გასაზრდელად. თავისი გეოგრაფიული მდგომარეობიდან გამომდინარე, საქართველოს ელექტროსისტემა წარმოადგენს ბუნებრივ დერეფანს

თურქეთის, აზერბაიჯანის, სომხეთის და რუსეთის ელექტრულ სისტემებს შორის ენერჯით ვაჭრობისათვის.

საქართველოს ელექტროსისტემის არსებული 500 კვ-იანი ქსელი და ჰიდროენერგეტიკული პოტენციალი საშუალებას იძლევა განვახორციელოთ 1000-1400 მგვტ სიმძლავრის გადაცემა აზერბაიჯანიდან თურქეთში, რუსეთიდან ან სომხეთიდან თურქეთში, რუსეთიდან საქართველოსა და სომხეთის გავლით ირანში და სხვა. საქართველოს 500 კვ-იანი სქემა ნაჩვენებია ნახ.60-ზე.

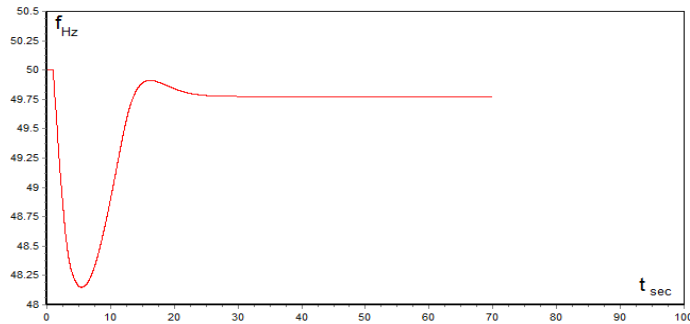


ნახ. 60. საქართველოს 500 კვ-იანი სქემა

ტექნიკურად ასეთი მნიშვნელოვანი სიმძლავრის გატარება შესაძლებელია, მაგრამ იქმნება გარკვეული პრობლემები. პრობლემა საქართველოს ელექტროსისტემის სიდიდეშია. საქართველოს სისტემის ზამთრის მაქსიმუმის დროს სიმძლავრე 1700-1800 მგვტ-ია, ზაფხულში ღამის საათებში კი 900-1000 მგვტ-ია. თუ აზერბაიჯანიდან თურქეთში გადის 700 მგვტ, მაშინ გარდაბანი-სამუხი (მუხრანის-ველი) ხაზის გამორთვა შექმნის საქართველოში 40-70% დეფიციტს. სიხშირე დაიწყებს ძალიან სწრაფად ვარდნას და საჭირო ხდება მომენტალურად შემცირდეს თურქეთში გაცემა ან/და გამოირთოს სასისტემო ავტომატიკის მეშვეობით საქართველოს მოხმარების დიდი ნაწილი, ეს დაკავშირებულია დიდ მატერიალურ ზარალთან, თანაც ეს ყველაფერი შეიძლება მოხდეს იმ დროს, როცა საქართველოს ელექტრო სადგურებზე არსებობს როგორც მზრუნავი ასევე „ცივი“ რეზერვი. ამ რეზერვის ამოქმედებას ჭირდება რამოდენიმე

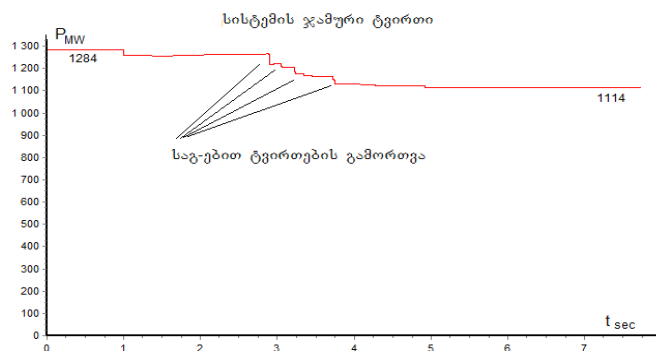
ათეული წამი, იმისათვის რომ ჰიდროგენერატორების მიმართველი აპარატები გაიღოს საჭირო სიდიდით. კერძოდ, ენგურჰესის მანქანების მიერ სიმძლავრის აღების სიჩქარეა 8 მგვტ/წმ, ვარდნილ ჰესის 7,5 მგვტ/წმ, შაორ ჰესზე 0,5 მგვტ/წმ, ხრამჰესებზე და ჟინვალზე 1,2 მგვტ/წმ.

ჩატარდა ასეთი ავარიის მოდელირება როდესაც აზერბაიჯანიდან შემოდიოდა 428 მგვტ და თურქეთში გადიოდა 700 მგვტ. საქართველოს სისტემის ჯამური ტვირთი იყო 1267 მგვტ. ენგურჰესზე მუშაობდა ხუთივე მანქანა. 500 კვ ძაბვის ხაზის „მუხრანის ველის“ გამორთვა (გარდაბანი გამორთულია) იწვევს საქართველოს სისტემაში სიხშირის სწრაფ შემცირებას, ნახ.61.



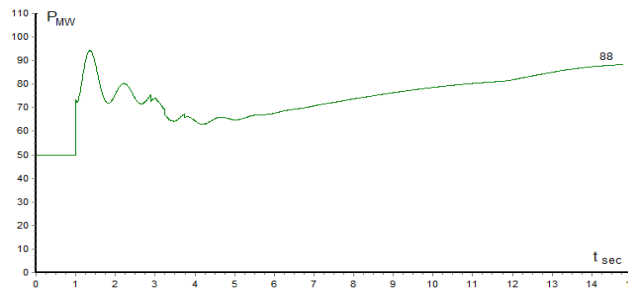
ნახ. 61. სიხშირის ცვლილება ეგზ მუხრანის ველის გამორთვის შემდეგ

სიხშირის ასეთი შემცირება გამოიწვევს სიხშირით ავტომატური განტვირთვის (საგ) რეაქციების ამოქმედებას და ამის შედეგად გამორთვება შესაბამისი დატვირთვა. ამ შემთხვევაში გამოირთო 260 მგვტ. საგებმა გამორთეს 1284-1114= 170მგვტ, ნახ.62



ნახ. 62. საქართველოს ჯამური მოხმარება

დეფიციტის დარჩენილი სიმძლავრე დაიფარება გენერატორების მიერ სიმძლავრის აღებით. მაგალითად ენგურჰესის N1 მანქანამ აიღო დამატებით 38 მგვტ. ნახ.63.

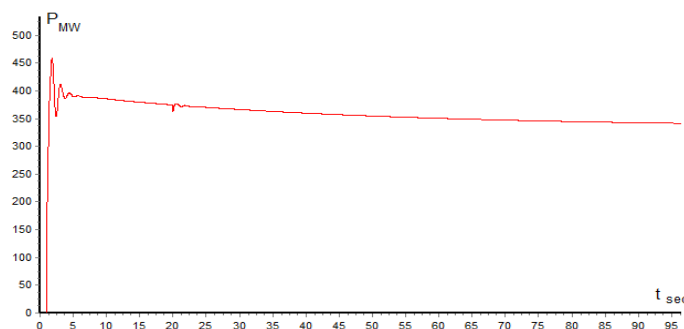


ნახ. 63. ენგურჰესის ერთი აგრეგატის მიერ განვითარებული სიმძლავრე

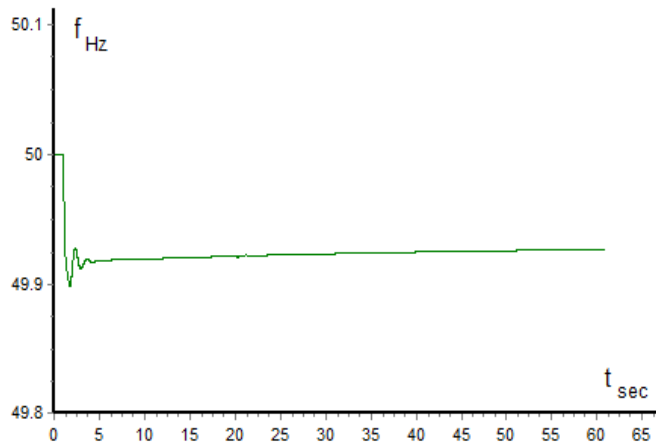
გარდა ამისა გადაიტვირთა გარდაბანში ბლოკი N9 რაც მოითხოვს დისპეჩერის ჩარევას.

მოდელირების შემდეგ ეტაპზე, გარდაბანში, 220 კვ სალტეზე მიერთებულია ზეგამტარული ენერჯის დამაგროვებელი. დამაგროვებლის ნომინალური ძაბვა 10 კვ-ია, ამიტომ საჭირო გახდა 220/10კვ ტრანსფორმატორის გამოყენება. დამაგროვებლის ტევადობა 20 მგვტ.სთ-ია და მას შეუძლია გასცეს 400 მგვტ 100 წამის განმავლობაში.

ნახ.64-ზე ნაჩვენებია ბატარეის მიერ სიმძლავრის გაცემის მრუდი. როგორც ვხედავთ ბატარეამ თავის თავზე აიღო დეფიციტის უდიდესი ნაწილი, სიხშირე პრაქტიკულად არ შეცვლილა ნახ.65 და ჰიდროგენერატორებმა არ აიღეს დამატებითი ტვირთი.



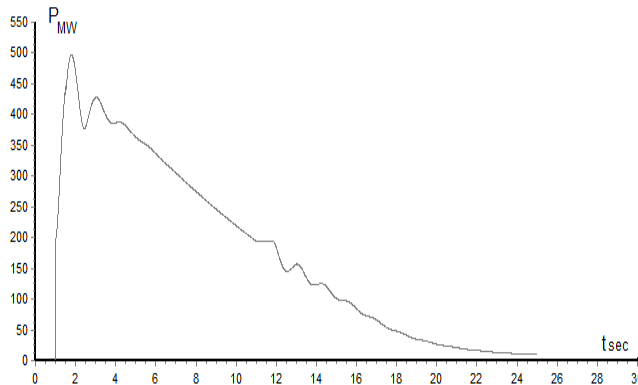
ნახ. 64. ბატარეის მიერ სიმძლავრის გაცემის მრუდი



ნახ. 65. სიხშირე ელექტრული ენერჯის დამაგროვებლი გამოყენებისას

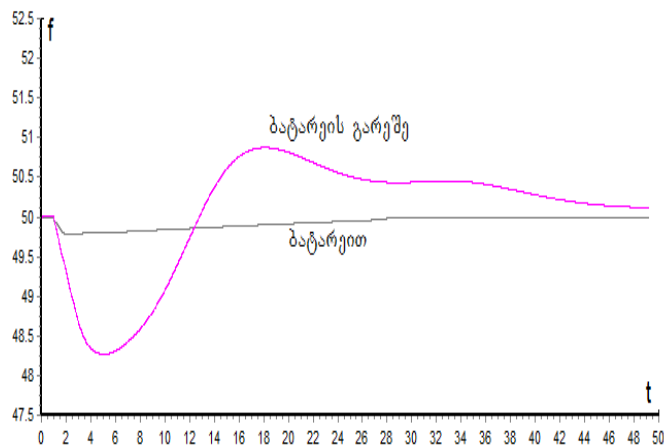
როგორც აღვნიშნეთ ბატარეას არ შეუძლია 100 წამზე მეტხანს გასცეს 400 მგვტ სიმძლავრე, ამიტომ მართო ბატარეა არ წყვეტს პრობლემას. საჭიროა გვექონდეს ინფორმაციის გადაცემის სისტემა. ასეთ სისტემას წარმოადგენს ამჟამად არსებული სისტემა “SCADA” - supervisory control and data acquisition“ – „სადისპეჩერო მართვა და მონაცემთა შეგროვება“. ამ სისტემის ფარგლებში ყველა ძირითადი ელექტროსადგური და 500-220 კვ ძაბვის ქვესადგური დაკავშირებული ერთმანეთთან და სადისპეჩერო ფართან ოპტიკური კაბელებით. სადისპეჩერო პულტის კომპიუტერში რეგულარულად შემოდის ინფორმაცია გენერატორების დატვირთვაზე, ხაზების და ტრანსფორმატორების მდგომარეობაზე (ჩართულია თუ გამორთულია). ბატარეის სწორი გამოყენებისთვის საჭიროა ვაკონტროლოთ მის მიერ გაცემული აქტიური სიმძლავრე. დამყარებულ რეჟიმში ბატარეა არ გაცემს აქტიურ სიმძლავრეს, მაგრამ დეფიციტის წარმოქმნისას მყისიერად იწყებს სიმძლავრის გაცემას. ბატარეის მიერ სიმძლავრის აღებისას სიგნალები უნდა გაიგზავნოს იმ გენერატორებზე რომელსაც გააჩნიათ მზრუნავი რეზერვი. გენერატორების დატვირთვის გაზრდა გამოიწვევს ბატარეის სიმძლავრის შემცირებას. ეს პროცესი გაგრძელდება მანამდე სანამ გენერატორები არ დაფარავენ წარმოქმნილ დეფიციტს. ასეთი ალგორითმი რეალიზირებული იყო მოდელირების დროს. ნახ.66-ზე ნაჩვენებია დამაგროვებლის მიერ სიმძლავრის გაცემის მრუდი. როგორც ჩანს

ნახაზიდან, დეფიციტის ლიკვიდაციას დაჭირდა 25 წამი და მოხმარების გამორთვა არ მოხდა.



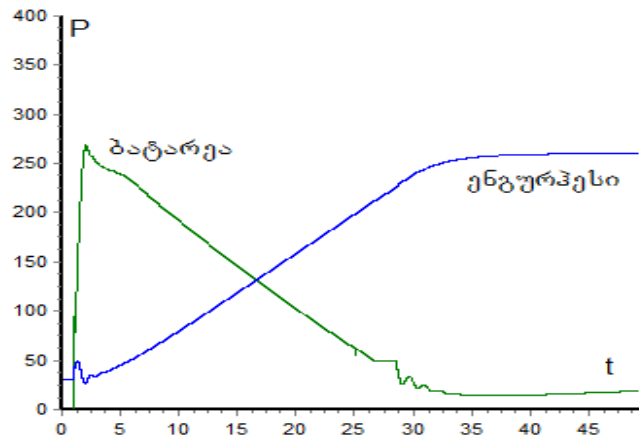
ნახ. 66. დამაგროვებლის მიერ სიმძლავრის გაცემის მრუდი

ანალოგიური ეფექტი იქნება სხვა რეჟიმშიც. მაგალითად საქართველოს სისტემა მუშაობს იზოლირებულად. ჯამური ტვირთია 1284 მგვტ, თურქეთში გადის 200 მგვტ. გარდაბანში ბლოკი N9 მუშაობს 280 მგვტ სიმძლავრით. მისი ავარიული გამორთვა იწვევს სისტემაში სიხშირის შემცირებას და სიხშირის ავტომატური განტვირთვის რეაქციები გამორთავენ სხვადასხვა ქვესადგურში 130 მგვტ დატვირთვისას. სიხშირე იწყებს ზრდას და აღწევს 51 ჰერცს, შემდეგ კი რამოდენიმე რყევის შემდეგ მყარდება, ნახ.67.



ნახ. 67. სიხშირის ცვლილება ბატარეით და ბატარეის გარეშე

თუკი სისტემაში ჩართულია ბატარეა, მაშინ სიხშირე პრაქტიკულად არ იცვლება. ბლოკის გამორთვისთანავე ბატარეა თავის თავზე იღებს ბლოკის ტვირთს და აძლევს საშუალებას ენგურჰესს აილოს დატვირთვა მისთვის მისაღებ სიჩქარით. ნახ.68. ამასობაში ბატარეის ტვირთი შესაბამისად მცირდება.

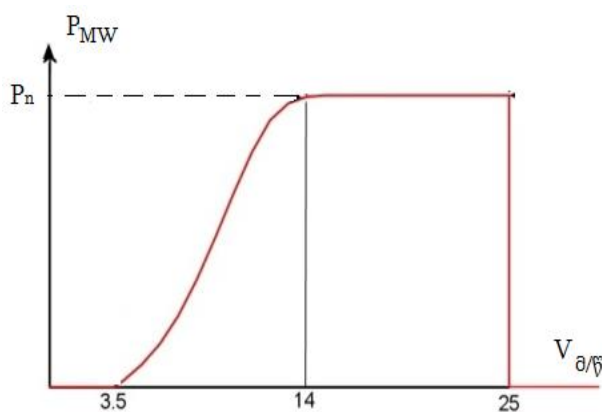


ნახ. 68. ბატარეის და ენგურჰესის აქტიური სიმძლავრის მრუდი

თავი 3. ელექტრული ენერჯის დამაგროვებლის გათვალისწინებით სტატიკური მდგრადობის ანალიზი

3.1. ენერჯის დამაგროვებლის (ბატარეის) გამოყენების ეფექტი ქარის ელექტროსადგურზე

ქარის ელექტროსადგურების სწრაფი განვითარება განპირობებულია „სუფთა“ ენერჯის გამოყენების დიდი უპირატესობით. ასეთ სადგურს არ სჭირდება სათბობი და შედეგად არ ხდება ატმოსფეროში CO₂ გამოყოფა. ამავე დროს ქარის ელექტროსადგურები ქმნიან გარკვეულ პრობლემებს ელექტრული სისტემის მუშაობაში. საქმე იმაშია, რომ ქარის სადგური მიერ ქსელში გაცემული სიმძლავრე ყოველთვის არ არის სტაბილური. ეს სიმძლავრე შეიძლება იცვლებოდეს ქარის სიჩქარეზე დამოკიდებულებით. ქარის გენერატორის ტიპური მახასიათებელი მოყვანილია ნახ.69-ზე.

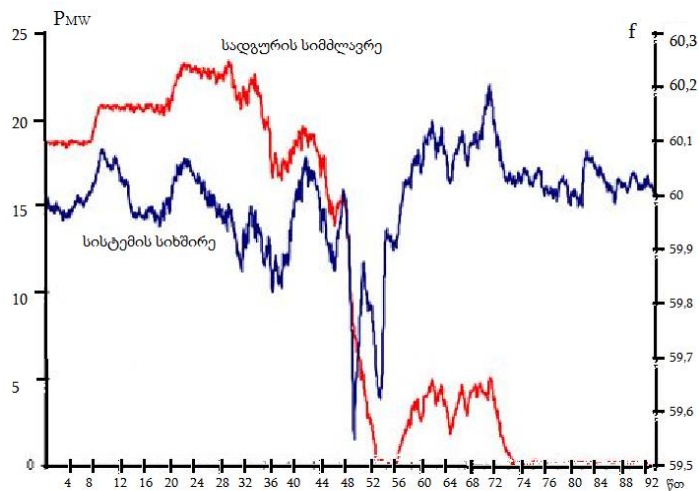


ნახ. 69. დამოკიდებულება ქარის სიჩქარესა და ქარის გენერატორის მიერ
გამომუშავებულ სიმძლავრეს შორის

ქარის გენერატორი მუშაობს ნომინალური სიმძლავრით, თუ ქარის სიჩქარე 14მ/წმ-25მ/წმ დიაპაზონშია. ძალიან ძლიერი ქარის დროს, რომლის სიჩქარე მაგალითად 25მ/წმ (ეს 90კმ/სთ) , ქარის ტურბინა გაითიშება. თუ ქარის სიჩქარე ნაკლებია 14 მ/წმ ზე, მაშინ ქარის გენერატორის სიმძლავრე იცვლება ქართან ერთად. შესაბამისად იცვლება

ელექტრულ სისტემაში მიწოდებული სიმძლავრე. ამან კი შეიძლება გამოიწვიოს როგორც სისტემის სიხშირის ასევე ძაბვით რყევა. ეს დაუშვებელია სისტემის მომხმარებლების ელექტრომომარაგების თვალსაზრისით.

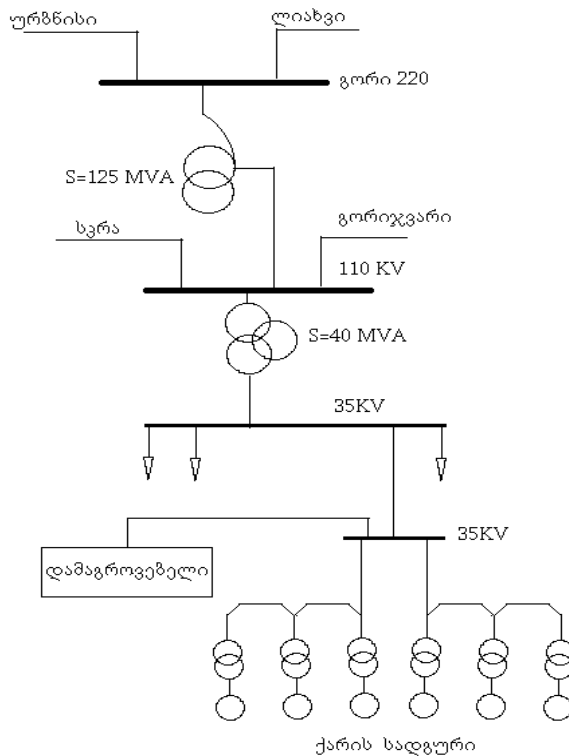
ქვემოთ მოყვანილ ნახატზე ნაჩვენებია თუ როგორ იცვლება ამერიკის შეერთებული შტატების ერთ-ერთი სადგურის სიმძლავრე და სისტემის სიხშირე ქარის სიჩქარის ცვლილების გამო ნახ.70



ნახ. 70. სისტემის სიხშირის ცვლილება ქარის სიჩქარის ცვლილების გამო

საქართველოში არსებობს ქარის სადგური. ეს გორის 20 მგვტ სიმძლავრის ქარის სადგურია. სადგური შედგება ექვსი ქარის გენერატორისაგან, რომელთა ჯამური ნომინალური სიმძლავრეა 20 მგვტ. სადგური მიერთებულია გორის ქვესადგურის 35 კვ ძაბვის სალტებთან.

ამ სადგურის სისტემის მუშაობაზე გავლენის შესწავლის მიზნით ჩატარდა ქარის ცვლილების პროცესის მოდელირება. მოდელში გამოყენებული იყო „შემთხვევითი რიცხვების გენერატორი“, რომელიც ცვლიდა ქარის სადგურის მიერ გაცემულ სიმძლავრეს 5 მგვტ დან 15 მგვტ მდე. მოდელირება ჩატარდა ორჯერ, ერთხელ მხოლოდ ქარის სადგურის მხედველობაში მიღებით, მეორედ ქარის სადგურთან ჩართული იყო ენერჯის დამაგროვებელი. შესაბამისი სქემა მოყვანილია ნახ.71-ზე.

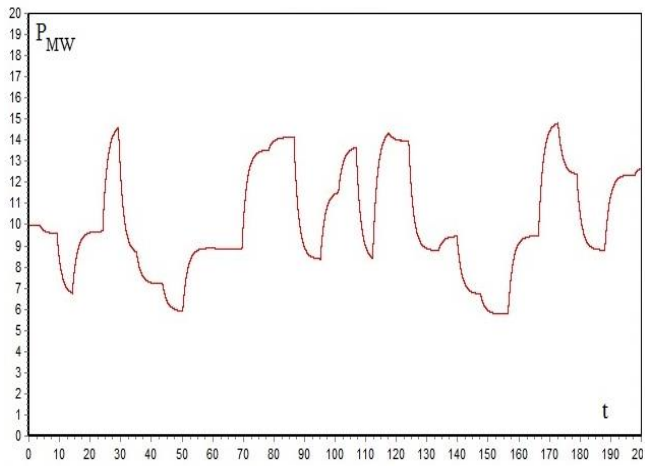


ნახ. 71. ქვესადგური გორის 220 კვ ჩანაცვლების სქემა

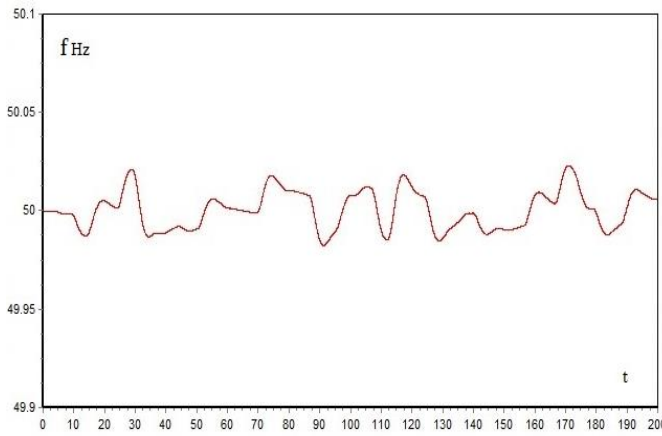
ელექტრული სისტემის რეჟიმი მოდელირების ორივე შემთხვევაში იყო შემდეგი.

სისტემის ჯამური ტვირთი 1256 მგვტ; სისტემის ჯამური გენერაცია 1646 მგვტ; ექსპორტი თურქეთში 345 მგვტ;

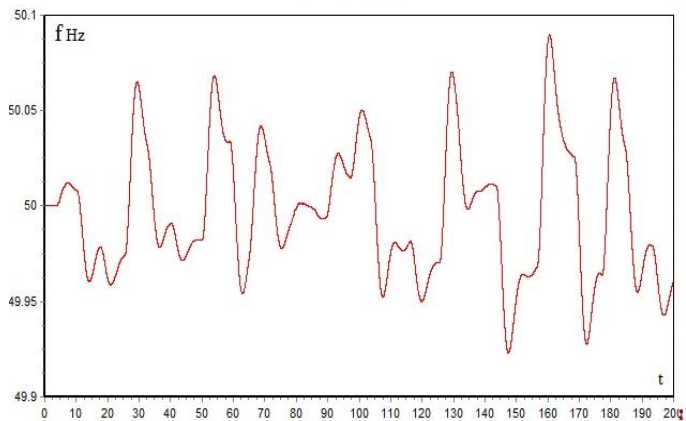
ქვემოთ მოყვანილია მოდელირების რეზულტატები, იმ შემთხვევაში, როცა ენერჯის დამაგროვებელი გამორთულია. ნახ.72 ზე ნაჩვენებია ქარის სადგურის სიმძლავრის ცვლილება ქარის სიჩქარეზე დამოკიდებულებით. სისტემაში გაცემული სიმძლავრე იცვლება 6-15 მგვტ-ს ფარგლებში. სიმძლავრის ასეთი რყევა იწვევს სისტემის სიხშირის ცვლილებას, ნახ.73 სიხშირის გადახრა უმნიშვნელოა. მაგრამ თუ განვიხილავთ ზაფხულის მინიმალურ რეჟიმს, სადაც ჯამური გენერაცია 1000 მგვტ-ია, მაშინ სიხშირის ცვლილება იქნება დაახლოვებით +0,1 -0,1 ჰერცის ფარგლებში, ნახ.74



ნახ. 72. აქტიური სიმძლავრის ცვლილება როდესაც ენერჯის დამაგროვებელი გამორთულია

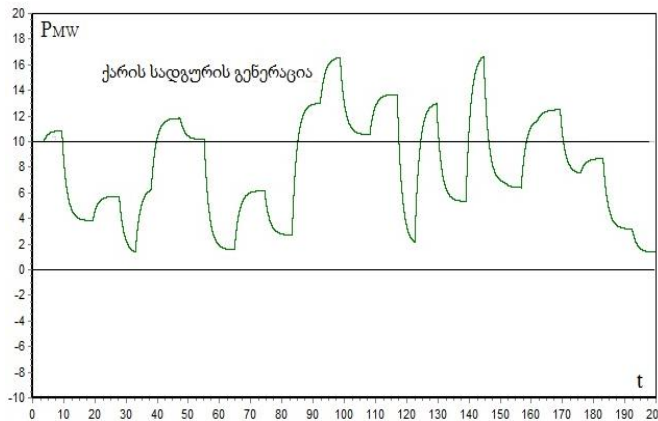


ნახ. 73. სიხშირის ცვლილება როდესაც ენერჯის დამაგროვებელი გამორთულია

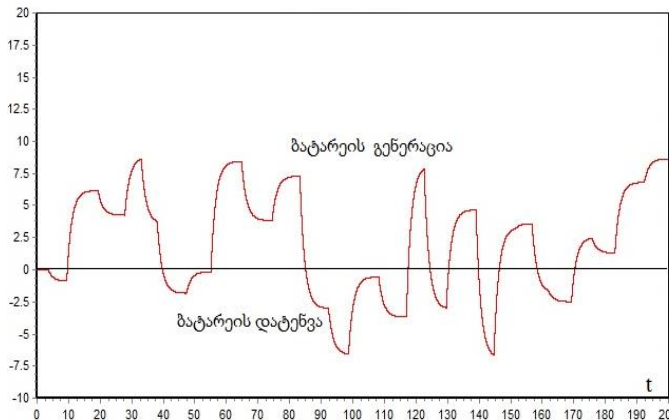


ნახ. 74. სიხშირის ცვლილება მინიმალური დატვირთვის პერიოდში როდესაც ენერჯის დამაგროვებელი გამორთულია

ენერჯის დამაგროვებლის გამოყენება რადიკალურად ცვლის პროცესს. დამაგროვებელი პრაქტიკულად მყისიერად გასცემს ან შთანთქავს სიმძლავრეს, ისე, რომ ქსელში გაცემული სიმძლავრე რჩება უცვლელი. ქარის სადგურის სიმძლავრის ცვლილება მოყვანილია ნახ.75. ნახ.76 კი მოყვანილია დამაგროვებლის სიმძლავრე.

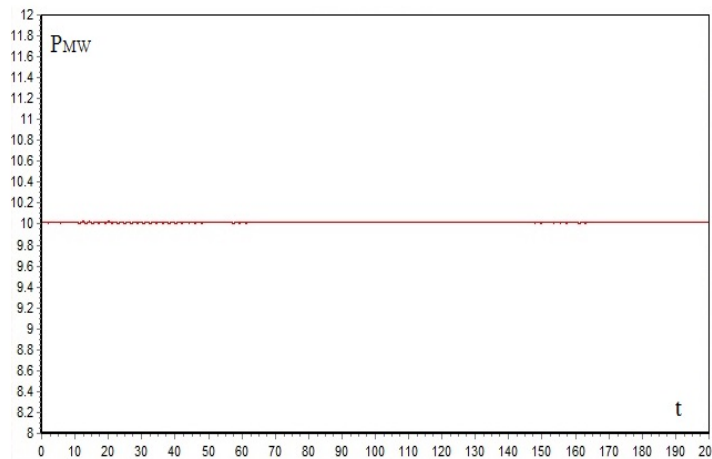


ნახ. 75. ქარის გენერატორების აქტიური სიმძლავრის მრუდი

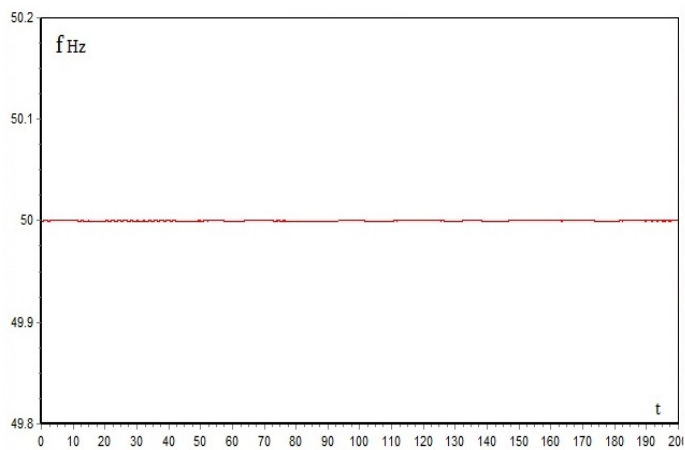


ნახ. 76. ენერჯის დამაგროვებლის აქტიური სიმძლავრის მრუდი

ამრიგად დამაგროვებელი ხან გასცემს სიმძლავრეს ქსელში, ხან მოიხმარს სიმძლავრეს ქსელიდან. ამის შედეგად ქარის სადგურის და დამაგროვებლის ჯამური სიმძლავრე მუდმივია და უდრის 10 მგვტ, ნახ.77 ბუნებრივია,რომ ამ პირობებში სისტემის სიხშირე დარჩება უცვლელი, ნახ.78



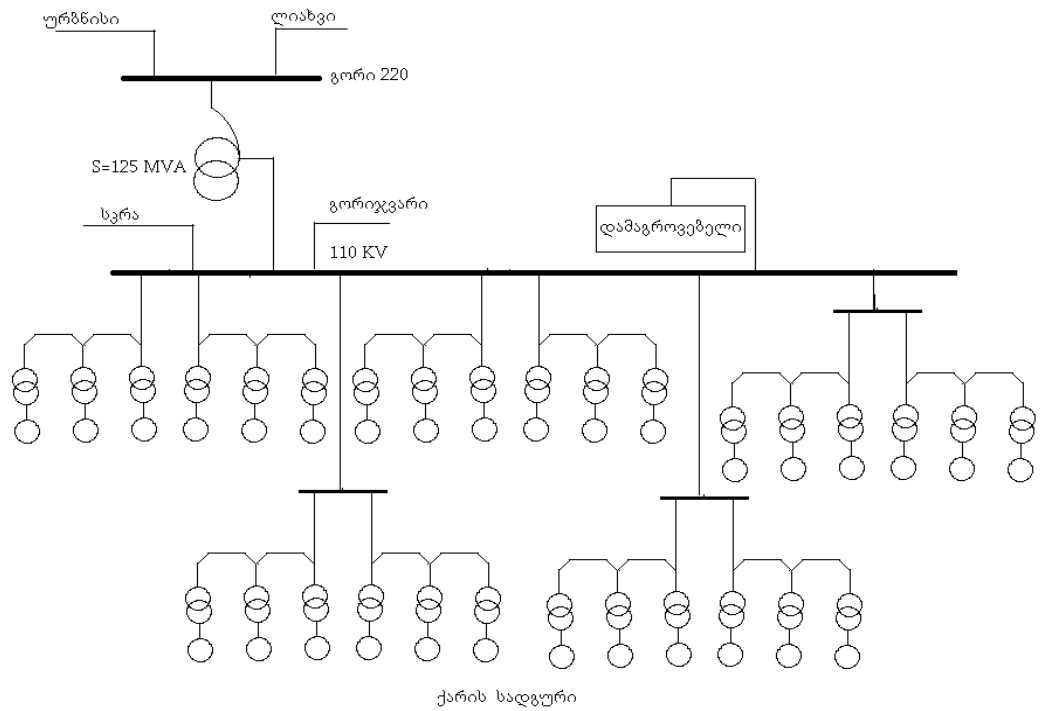
ნახ. 77. ქარის გენერატორებისა და ენერჯის დამაგროვებლის ჯამური გენერირებული სიმძლავრე



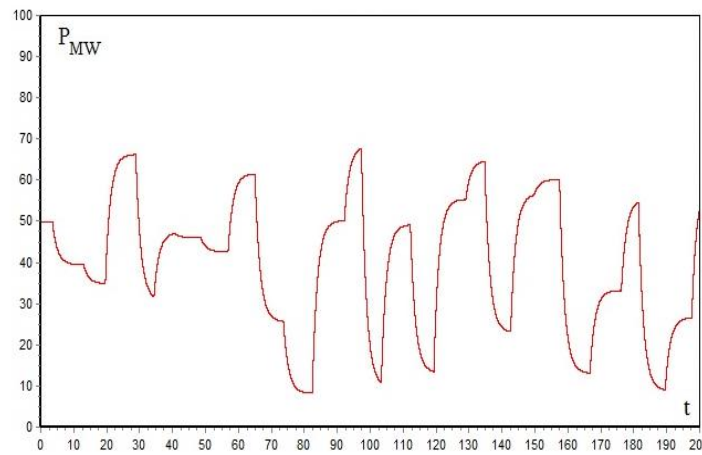
ნახ. 78. სიხშირე როდესაც ენერჯის დამაგროვებელი ჩართულია

უფრო დიდი სიმძლავრის ქარის სადგურის შემთხვევაში, დამაგროვებლის გამოყენების აუცილებლობა უფრო დიდია. განვიხილოთ მაგალითი, სადაც 100 მგვტ სიმძლავრის ქარის სადგური მუშაობს ამავე რეჟიმში გორის 110 კვ ძაბვის სალტეებზე ნახ.79.

განხილულია ქარის სადგურის მუშაობის რეჟიმი მისი მახასიათებლის დახრილი ნაწილის შუაში. ე.ი სადგური მუშაობდა 50 მგვტ-ით როცა დაიწყო ქარის სიჩქარის ცვლილება. ამის გამო სადგურის მიერ ქსელში გაცემული სიმძლავრე იცვლება შემდეგნაირად, ნახ.80

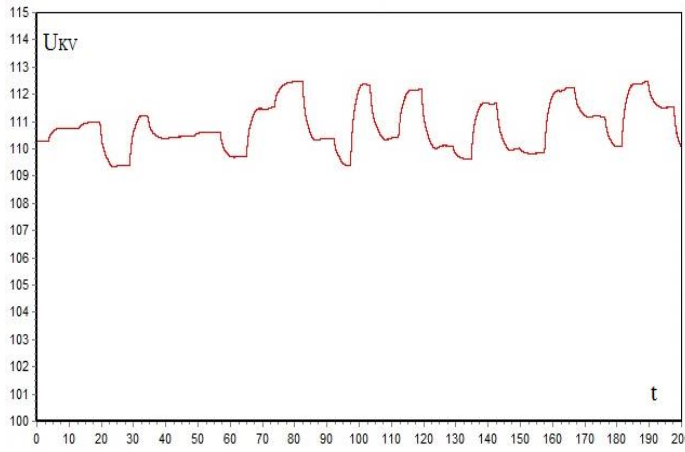


ნახ. 79. გორი 220 კვ ქვესადგურის ჩანაცვლების სქემა

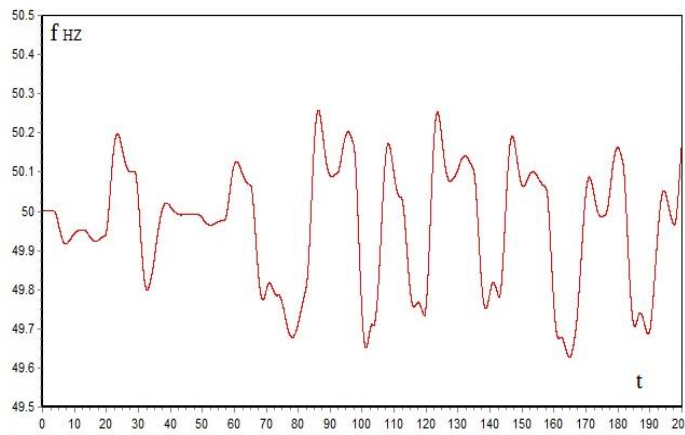


ნახ. 80. აქტიური სიმძლავრის ცვლილება როდესაც ენერჯის დამაგროვებელი გამორთულია

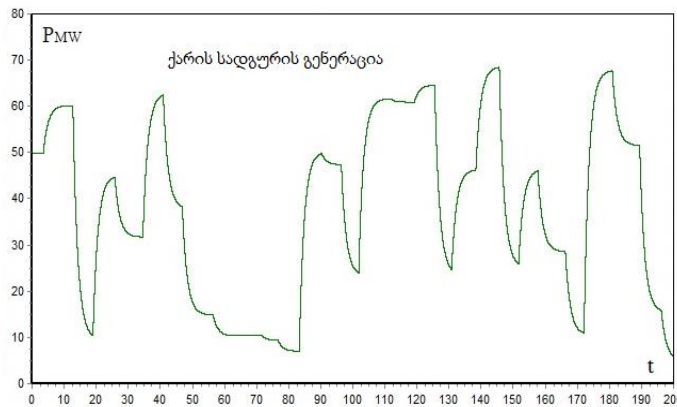
ამის გამო იცვლება და გორის ქვესადგურის სალტეებზე ძაბვა ნახ.81 და სისტემის სიხშირე ნახ.82



ნახ. 81. ძაბვის ცვლილება როდესაც ენერჯის დამაგროვებელი გამორთულია



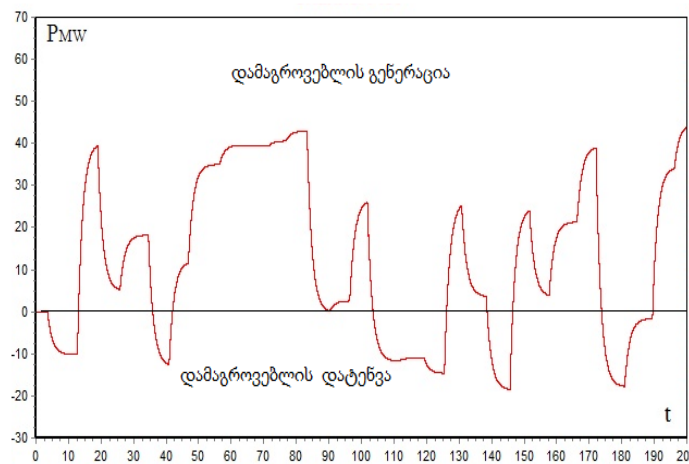
ნახ. 82. სიხშირის ცვლილება როდესაც ენერჯის დამაგროვებელი გამორთულია



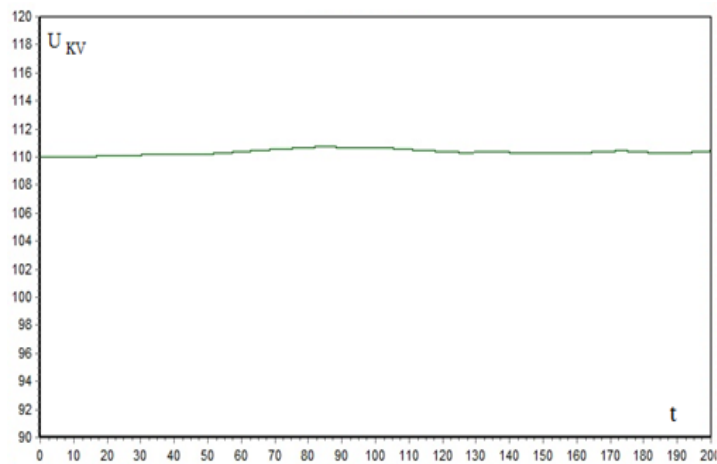
ნახ. 83. ქარის სადგურის აქტიური სიმძლავრის ცვლილება

ამ შემთხვევაში ძაბვის და სიხშირის რყევა საგრძნობია. თუ ქარის სადგურთან ჩავრთავთ ენერჯის დამაგროვებელს, მაშინ გვექნება შემდეგი სურათი.

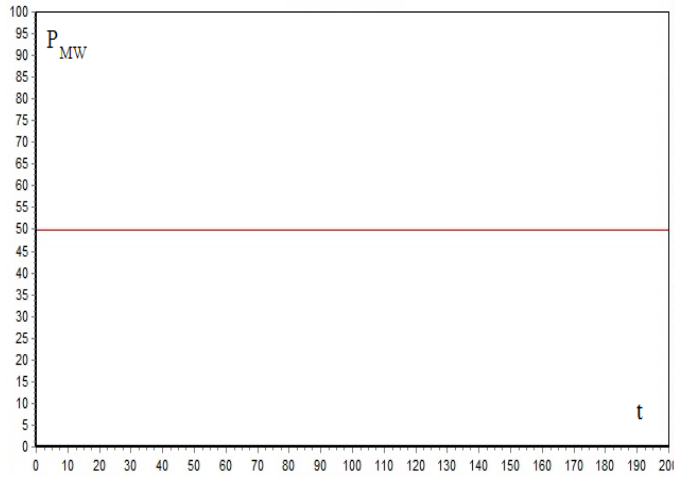
ქარის ცვლილების გამო ქარის სადგურის გენერაცია ნაჩვენებია ნახ.83-ზე. დამაგროვებლის რეგულატორი რეაგირებს ქარის სადგურის სიმძლავრის ცვლილებაზე და უინერციოდ, მყისიერად გასცემს ან მიიღებს სიმძლავრეს ნახ.84 ისე, რომ ქსელში გაცემა დარჩეს მუდმივი ნახ.86. ძაბვა გორის ქვესადგურის სალტებზე პრაქტიკულად არ იცვლება, ნახ.85



ნახ. 84. ენერჯის დამაგროვებლის აქტიური სიმძლავრის ცვლილება



ნახ. 85. ძაბვის ცვლილება როდესაც ენერჯის დამაგროვებელი ჩართულია

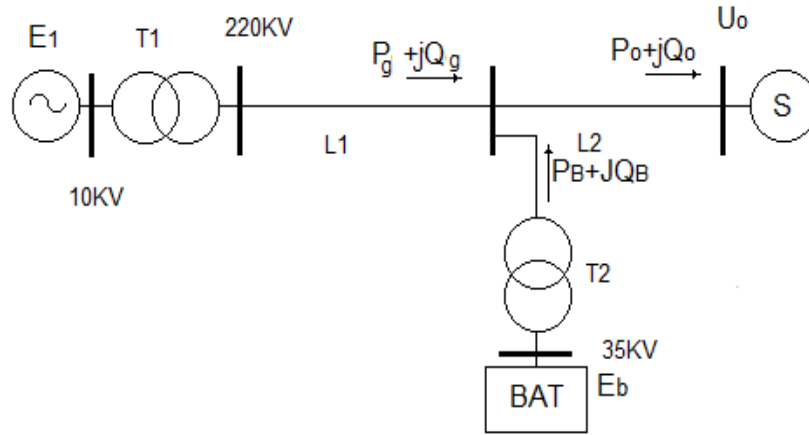


ნახ. 86. ქარის გენერატორებისა და ენერჯის დამაგროვებლის ჯამური გენერირებული სიმძლავრე

3.2. ენერჯის დამაგროვებლის გავლენა სადგურის სტატიკურ მდგრადობაზე

ელექტრულ სისტემებში ენერჯის დამაგროვებლების გამოყენებამ სულ უფრო დიდი მასშტაბები მიიღო. ენერჯის დამაგროვებლები აუმჯობესებენ სისტემის დინამიურ მდგრადობას, „ასწორებენ“ დატვირთვის გრაფიკებს, აუმჯობესებენ ენერჯის ხარისხს. მათი გამოყენება ქარის და მზის ელექტროსადგურებთან კომპლექტში ზრდის ამ სადგურების გამოყენების ეფექტიურობას. ამავე დროს შესასწავლია ენერჯის დამაგროვებლების გავლენა ცალკეული გენერატორების სტატიკურ მდგრადობაზე. მაგალითად კომპლექსური მზის ელექტროსადგური აღჭურვილია სინქრონული გენერატორით. დილით და საღამოს მზის სადგურის სიმძლავრე მინიმალურია, ვინაიდან მზე დაბლა დგას და მზის ენერჯის კონცენტრაცია ორთქლგენერატორზე მინიმალურია, შუადღეისით კი პირიქით. ამიტომ დღის საათებში სადგურის ენერჯის ნაწილი გაიცემა ქსელში, ნაწილი კი გროვდება დამაგროვებელში. საღამოს კი გენერატორი და დამაგროვებელი ერთად გასცემენ ენერჯიას ქსელში.

ენერჯის დამაგროვებელი იგივე სტატიკური გენერატორია და ის არ ღებულობს მონაწილეობას ელექტრომექანიკურ პროცესებში. მისი სიშირე ყოველთვის მუდმივია.



ნახ. 87. ელექტრული ქსელის ჩანაცვლების სქემა

სტატიკური მდგრადობის ანალიზი ჩავატაროთ სქემისათვის, რომელიც შედგება მზის ელექტროსადგურიდან (კომპური ტიპის) რომელიც დაკავშირებულია სისტემასთან L1 და L2 ორი უბნისაგან შემდგარი ელექტრო გადაცემის ხაზით, ნახ.87

ანალიზი ჩატარდა შემდეგი ძირითადი დაშვებებით:

$$U_g = 10KV, X_d = X_d = 1.2 ; S_g = 200MVA, U_{kz} = 10\%, S_{T1} = 200MVA$$

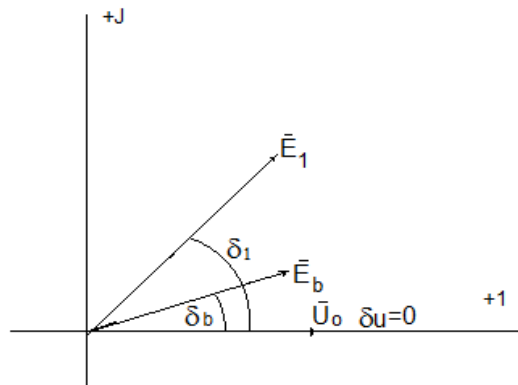
$$220/10, L_1=70km, U_{kz2} = 10\%, S_{T2} = 100MVA, L_2=70k$$

ელემენტების აქტიური წინაღობები მიღებულია 0 ტოლად, $U_o = 1, P_o = const, Q_o = const$. გენერატორია აქტიური სიმძლავრე გამოისახება ცნობილი ფორმულით

$$P_g = \frac{E_1 U_o}{Z_{1u}} \sin \delta_{1u} + \frac{E_1 E_b}{Z_{1b}} \sin \delta_{1b}$$

სადაც E_1 გენერატორის ემ ძალაა, E_b დამაგროვებლის ემ ძალაა, Z_{1u} გენერატორის და სისტემების შტოების ურთიერთ წინაღობაა და Z_{1b} გენერატორის და დამაგროვებლის შტოების ურთიერთ წინაღობაა. δ_{1u}

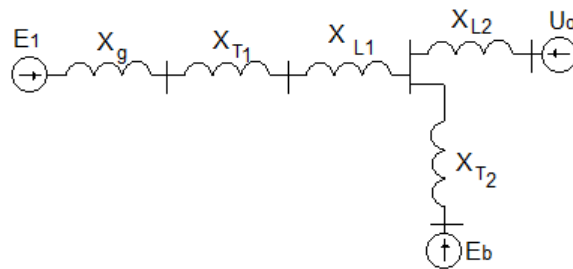
კუთხეა δ_{1u} და U_o ძაბვის ვექტორებს შორის და δ_{1b} კუთხეა δ_{1u} და E_b ძაბვის ვექტორებს შორის, ნახ.88



ნახ. 88. ელექტრო მამობრავებელი ძალის ვექტორული დიაგრამა

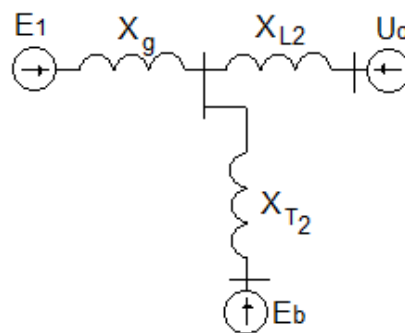
აქ $\delta_{1u} = \delta_1 - \delta_u = \delta_1 - 0 = \delta_1$. $\delta_{1b} = \delta_1 - \delta_b$.

მოცემული სისტემის ჩანაცვლების სქემა მოყვანილია ნახ.89-ზე.



ნახ. 89. ელექტრული ქსელის ჩანაცვლების სქემა

გავამარტივოთ ეს სქემა



ნახ. 90. ელექტრული ქსელის გამარტივებული ჩანაცვლების სქემა

აქ შტოების ურთიერთ წინააღობები შემდეგია

$$Z_{1u} = X_{1u} = X_g + X_{L2} + \frac{X_g * X_{L2}}{X_{T2}} \quad \text{და} \quad Z_{1b} = X_{1b} = X_g + X_{T2} + \frac{X_g * X_{T2}}{X_{L2}}$$

გენერატორის როტორის იძულებითი მოძრაობის დიფერენციალური განტოლება გამოისახება შემდეგნაირად

$$T_j \frac{d^2 \delta}{dt^2} + P_d \frac{d\delta}{dt} = P_t - P_g$$

აქ $\delta_{1u} = \delta_{1u0} + \Delta\delta_1$, სადაც δ_{1u0} კუთხეა ემ ძალასა და U_o ძაბვის ვექტორებს შორის დამყარებულ რეჟიმში. უკანასკნელი ფორმულა გავითვალისწინოთ წინა ფორმულაში

$$\begin{aligned} & T_j \frac{d^2(\delta_{1u0} + \Delta\delta_1)}{dt^2} + P_d \frac{d(\delta_{1u0} + \Delta\delta_1)}{dt} \\ &= P_t - \frac{E_1 U_o}{Z_{1u}} \sin(\delta_{1u0} + \Delta\delta_1) - \frac{E_1 E_b}{Z_{1b}} \sin(\delta_{1u0} + \Delta\delta_1 - \delta_{1b0} - \Delta\delta_b) \end{aligned}$$

კუთხე გენერატორის და დამაგროვებლის ემ ძალებს შორის არის $\delta_{1b} = \delta_{1b0} + \Delta\delta_b$. რადგან $\Delta P = P_T - P_g = \frac{E_1 U_o}{Z_{1u}} \sin(\delta_{1u0} + \Delta\delta_1) - \frac{E_1 E_b}{Z_{1b}} \sin(\delta_{1u0} + \Delta\delta_1 - \delta_{1b0} - \Delta\delta_b)$ არის ორი ცვლადის, δ_{1u} და δ_{1b} ფუნქცია, მაშინ δ_{1u0} და δ_{1b0} სიახლოვესი ეს ფუნქცია შეიძლება გავაწროვივით

$$P_g \cong P_{g0} + S_E * \Delta\delta_1 + S_B * \Delta\delta_b$$

თანაც $\delta_{1u0} = const$ და $\delta_{1b0} = const$ მივიღებთ

$$T_j \frac{d^2 \Delta\delta_1}{dt^2} + P_d \frac{d\Delta\delta_1}{dt} + S_E * \Delta\delta_1 + S_B * \Delta\delta_b = 0$$

S_E და S_B გენერატორის მასინქრონიზირებელი სიმძლავრეებია

$$\begin{aligned} S_E &= \frac{\partial P_g}{\partial \delta_1} = \frac{E_1 U_o}{Z_{1u}} \cos \delta_{1u0} + \frac{E_1 E_b}{Z_{1b}} \cos(\delta_{1u0} - \delta_{1b0}) \quad \text{და} \quad S_B = \frac{\partial P_g}{\partial \delta_b} = \\ &= -\frac{E_1 E_b}{Z_{1b}} \cos(\delta_{1u0} - \delta_{1b0}). \end{aligned}$$

განტოლება შეიცავს ორ უცნობს $\Delta\delta_1$ და $\Delta\delta_b$. ამიტომ ერთი უნდა გამოვსახოთ მეორეს საშუალებით. ამისათვის დავწეროთ დამაგროვებლის სიმძლავრის გამოსახულება

$$P_B = \frac{E_b U_o}{Z_{ub}} \sin \delta_{bu} + \frac{E_b E_1}{Z_{1b}} \sin(\delta_b - \delta_1)$$

აღვნიშნოთ $P_{m1} = \frac{E_b U_o}{Z_{ub}}$ და $P_{m2} = \frac{E_b E_1}{Z_{1b}}$ და გამოვსახოთ კუთხეები

ნაზრდებით

$$P_B = P_{Bo} + \Delta P_B = P_{m1} \sin(\delta_{bo} - \Delta\delta_b) + P_{m2} \sin[(\delta_{bo} - \delta_1) + (\Delta\delta_b - \Delta\delta_1)]$$

ჩვენ ვუშვებთ, რომ ბატარეა სიმძლავრე უცვლელია, ანუ $P_B = P_{Bo}$,

სხვანაირად

$$\Delta P_B = 0.$$

გავამარტივოთ გამოსახულება

$$\begin{aligned} P_{Bo} + \Delta P_B &= P_{m1} \sin\delta_{bo} \cos\Delta\delta_b + P_{m1} \cos\delta_{bo} \sin\Delta\delta_b \\ &+ P_{m2} \sin(\delta_{bo} - \delta_1) \cos(\Delta\delta_b - \Delta\delta_1) \\ &+ P_{m2} \cos(\delta_{bo} - \delta_1) \sin(\Delta\delta_b - \Delta\delta_1) \end{aligned}$$

რადგან $\Delta\delta_1$ და $\Delta\delta_b$ უსასრულოდ მცირე სიდიდეებია, მაშინ $\cos\Delta\delta_b \cong 1$, $\sin\Delta\delta_b \cong \Delta\delta_b$

$$\cos(\Delta\delta_b - \Delta\delta_1) \cong 1.$$

$$\begin{aligned} P_{Bo} + \Delta P_B &= P_{m1} \sin\delta_{bo} 1 + P_{m1} \cos\delta_{bo} \Delta\delta_b + P_{m2} \sin(\delta_{bo} - \delta_1) 1 \\ &+ P_{m2} \cos(\delta_{bo} - \delta_1) \sin(\Delta\delta_b - \Delta\delta_1) \end{aligned}$$

მაგრამ

$$P_{m1} \sin\delta_{bo} + P_{m2} \sin(\delta_{bo} - \delta_1) = P_{Bo}$$

ვკვეცავთ ორივე მხარეს და ვიღებთ

$$\begin{aligned} \Delta P_B &= P_{m1} \cos\delta_{bo} \Delta\delta_b + P_{m2} \cos(\delta_{bo} - \delta_1) \sin(\Delta\delta_b - \Delta\delta_1) \\ \sin(\Delta\delta_b - \Delta\delta_1) &= \sin\Delta\delta_b \cos\Delta\delta_1 - \cos\Delta\delta_b \sin\Delta\delta_1 = \sin\Delta\delta_b - \sin\Delta\delta_1 \\ &= \Delta\delta_b - \Delta\delta_1 \end{aligned}$$

$$\Delta P_B = P_{m1} \cos\delta_{bo} \Delta\delta_b + P_{m2} \cos(\delta_{bo} - \delta_1) \Delta\delta_b - P_{m2} \cos(\delta_{bo} - \delta_1) \Delta\delta_1$$

მაგრამ ჩვენ დავუშვით $\Delta P_B = 0$, ამიტომ

$$0 = P_{m1} \cos\delta_{bo} \Delta\delta_b + P_{m2} \cos(\delta_{bo} - \delta_1) \Delta\delta_b - P_{m2} \cos(\delta_{bo} - \delta_1) \Delta\delta_1$$

და

$$\Delta\delta_b = \frac{P_{m2} \cos(\delta_{bo} - \delta_1) \Delta\delta_1}{\cos\delta_{bo} + P_{m2} \cos(\delta_{bo} - \delta_1)}$$

გავითვალისწინოთ წინა განტოლება

$$T_j \frac{d^2 \Delta\delta_1}{dt^2} + P_d \frac{d\Delta\delta_1}{dt} + (S_E + S_B * \frac{P_{m2} \cos(\delta_{bo} - \delta_1)}{\cos\delta_{bo} + P_{m2} \cos(\delta_{bo} - \delta_1)}) \Delta\delta_1 = 0.$$

სადაც,

$$SS = S_E + S_B * \frac{P_{m2} \cos(\delta_{B0} - \delta_1)}{\cos \delta_{B0} + P_{m2} \cos(\delta_{B0} - \delta_1)} \quad \text{არის} \quad \text{გენერატორის}$$

მასინქრონისირებელი სიმძლავრე მიღებული დაშვებების პირობებში.

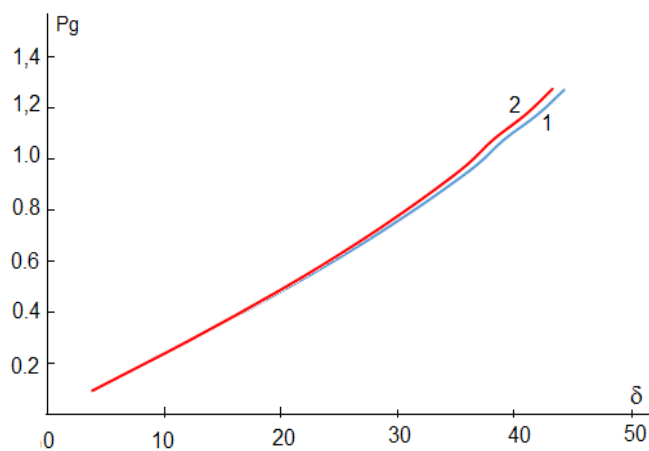
როტორის იძულებითი მოძრაობის დიფანტოლებას ექნება შემდეგი სახე

$$T_j \frac{d^2 \Delta \delta_1}{dt^2} + P_d \frac{d \Delta \delta_1}{dt} + SS \Delta \delta_1 = 0$$

ანგარიში ჩატარდა შემდეგი პირობებისათვის (ბაზისური სიმძლავრე 100 მგვა-ია)

$$Q_0 = 0.01, P_0 = 1.5, U_0 = 1.$$

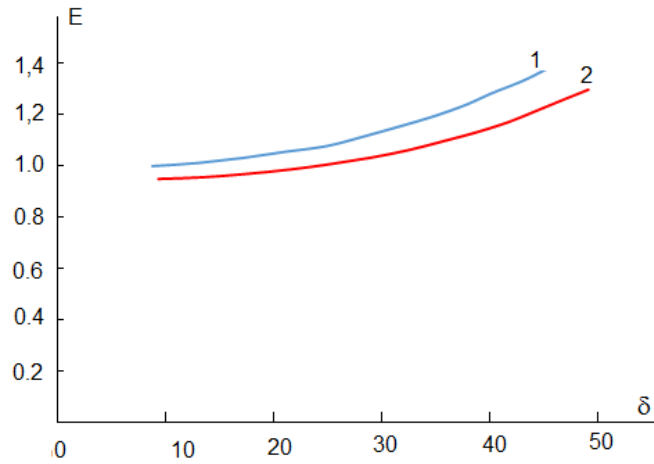
ეს სიმძლავრე უნდა დაკმაყოფილდეს ბატარეით და გენერატორით. შედარებისათვის ანგარიში ჩატარდა ამავე პირობებში ოღონდ გამორთული ბატარეის დროს. ბატარეის სიმძლავრე იცვლებოდა 0,1 დან 1,4 მდე 0,1 -ს ბიჯით. შესაბამისად იცვლებოდა გენეტატორის დატვირთვაც. გენერატორის სიმძლავრის მახასიათებლებია, ნახ.91



ნახ. 91. გენერატორის სიმძლავრის მახასიათებელი 1-ბატარეა გამორთულია, 2- ბატარეა ჩართულია

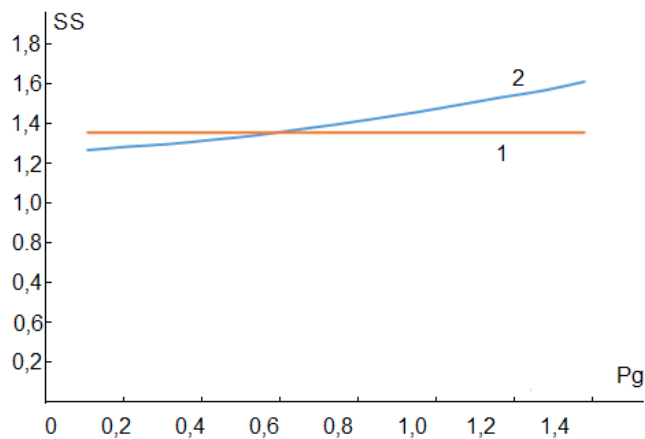
ორივე შემთხვევაში გენერატორის ემ ძალის ცვლილება მსგავსია.

$P_g = f(\delta)$ მახასიათებელს აქვს პრქტიკულად წრფივი სახე, ვინაიდან სხვადასხვა რეჟიმებში ზემოთ მოყვანილი $P_0 = const, Q_0 = const$ მოთხოვნის დასაკმაყოფილებლად გენერატორის ემ ძალა უნდა იცვლებოდეს, ნახ.92



ნახ. 92. გენერატორის ელექტრო მამოძრავებელი ძალის ცვლილება 1-ბატარეა გამორთულია, 2- ბატარეა ჩართულია

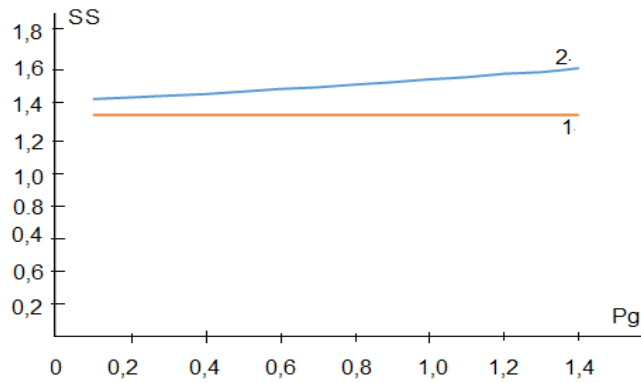
გენერატორის სტატიკური მდგრადობის შესაფასებლად იყენებენ მის SS მასინრონიზირებელ სიმძლავრეს.



ნახ. 93. გენერატორის მასინქრონიზირებელი სიმძლავრის ცვლილება 1- ბატარეა გამორთულია, 2- ბატარეა ჩართულია.

მასინქრონიზირებელი სიმძლავრე დამოკიდებულია აგრეთვე ბატარეის მიერთების ადგილზეც. თუ ბატარეა მიერთებულია გენერატორთან, გვაქვს, ნახ.94

სტატიკური მდგრადობის შესაფასებლად, ვნახოთ როგორ შეიცვლება $\Delta\delta_1$ გენერატორის კუთხის ნაზრდი. ამისათვის შევადგინოთ დიფერენციალური განტოლების მახასიათებელი განტოლება.



ნახ. 94. გენერატორის მასინქრონიზირებელი სიმძლავრის ცვლილება

$$T_j p^2 + P_d p + \omega_o SS = 0$$

ანუ, თუ $P_g = 1.3$, $P_B = 0.2$, $SS = 1.557$, $sss = 1.3$. თუ ინერციის მუდმივას ავიღებთ წამებით, მაშინ მასინქრონიზირებელი სიმძლავრე უნდა გამრავლდეს 314.

$$3p^2 + 3.8p + 314 * 1.557 = 0$$

ამიტომ ბატარეის არსებობის პირობებში, განტოლების ფესვებია

$$p_{1,2} = -0.633 \pm j12.7$$

ამიტომ (7) დიფერენციალური განტოლების ამონახსნი იქნება $\Delta\delta_1 = C e^{-0.663t} * \cos(12.7 * t)$. აქ C ინტეგრირების მუდმივაა, რომელიც არ არის განსაზღვრული. ჩვენ პროცესის საჩვენებლად, პირობითად ვიღებთ 1-ს ტოლად. თუ ბატარეა არ არის ჩართული, მაშინ მასინქრონიზირებული სიმძლავრე 1.31 ტოლია და მახასიათებელი განტოლება და მისი ფესვები იქნება

$$3p^2 + 3.8p + 314 * 1.557 = 0$$

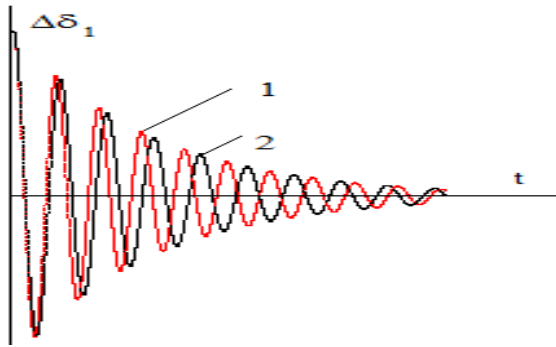
$$p_{1,2} = -0.63 \pm j11.6$$

დიფერენციალური განტოლების ამონახსნი კი იქნება

$$\Delta\delta_1 = C e^{-0.66t} * \cos(11.6 * t)$$

ფესვები მცირედ განსხვავდებიან ერთმანეთისაგან და $\Delta\delta_1 = f(t)$

ფუნქციებიც იქნებიან პრექტიკულად ერთნაირი, ნახ.95

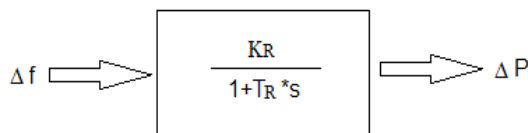


ნახ. 95. $\Delta\delta_1$ კუთხის ცვლილება არარეგულირებადი ბატარეით და ბატარეის გარეშე

აქედან შეიძლება გაკეთდეს დასკვნა, რომ ბატარეა არ ახდენს გავლენას სტატიკურ მდგრადობაზე.

აქამდე ჩვენ დაშვებული გვქონდა, რომ ბატარეის მიერ გაცემული სიმძლავრე მკაცრად მუდმივია. სინამდვილეში მის მიერ გაცემული სიმძლავრე დამოკიდებულია სისტემის სიხშირეზე ან რაიმე სხვა პარამეტრზე.

ვთქვათ, რომ ბატარეას გააჩნია რეგულატორი, რომელიც ცვლის გაცემულ სიმძლავრეს სიხშირის გადახრის მიხედვით. ასეთი რეგულატორის გამარტივებული ბლოკ-სქემა ნაჩვენებია ნახ.96-ზე.



ნახ. 96. ბატარეის რეგულატორის გამარტივებული ბლოკ-სქემა

Δf სიხშირის გადახრა არის: $f_1 - f_0$, აქ $f_1 = f_0 + \Delta f = f_0 + \frac{d\Delta\delta_1}{dt}$, ამიტომ $\Delta f = \frac{d\Delta\delta_1}{dt}$.

რეგულატორის ბლოკ-სქემის მიხედვით $\Delta f K_R = \Delta P + T_R s \Delta P$ s ოპერატორია და $\frac{d}{dt}$ -წარმოებულის „მაგვირობას“ ასრულებს.

მაშასადამე

$$\frac{d\Delta\delta_1}{dt} K_R = \Delta P_B + T_R \frac{d\Delta P_B}{dt}$$

აქ T_R რეგულატორის დროის მუდმივაა. ზევით მიღებული იყო, რომ

$$\Delta P_B = P_{m1} \cos \delta_{b0} \Delta \delta_b + P_{m2} \cos(\delta_{b0} - \delta_1) \Delta \delta_b - P_{m2} \cos(\delta_{b0} - \delta_1) \Delta \delta_1$$

ან

$$\Delta P_B = [P_{m1} \cos \delta_{b0} + P_{m2} \cos(\delta_{b0} - \delta_1)] \Delta \delta_b - [P_{m2} \cos(\delta_{b0} - \delta_1)] \Delta \delta_1$$

აღვნიშნოთ $A = [P_{m1} \cos \delta_{b0} + P_{m2} \cos(\delta_{b0} - \delta_1)]$ და

$$B = [P_{m2} \cos(\delta_{b0} - \delta_1)]$$

გვექნება

$$\Delta P_B = A \Delta \delta_b - B \Delta \delta_1$$

წინა განტოლება მიიღებს შემდეგ სახეს

$$\frac{d\Delta \delta_1}{dt} K_R = A \Delta \delta_b - B \Delta \delta_1 + T_{RA} \frac{d\Delta \delta_b}{dt} - T_{RB} \frac{d\Delta \delta_1}{dt}$$

$$T_j \frac{d^2 \Delta \delta_1}{dt^2} + P_d \frac{d\Delta \delta_1}{dt} + S_E * \Delta \delta_1 + S_B * \Delta \delta_b = 0.$$

ქმნიან განტოლებათა სისტემას. მატრიცული სახით, და ს ოპერატორით წარმოებულის გამოსახვით ეს განტოლებათა სისტემა ჩაიწერება შემდეგნაირად:

$T_j s^2 + P_d s + S_E$	S_B	×	=	$\Delta \delta_1$	0
$(-K_R + T_{RB}) s - B$	$T_{RA} s + A$			$\Delta \delta_b$	0

მატრიცის დეტერმინანტი ნულს გავუტოლოთ

$$D(s) = (T_j s^2 + P_d s + S_E)(T_{RA} s + A) + S_B K_R s - T_{RB} S_B s + B S_B = 0$$

ანუ $D(s) = a_0 s^3 + a_1 s^2 + a_2 s + a_3 = 0$

აქ $a_0 = T_j T_{RA}$; $a_1 = P_d T_{RA} + T_j A$; $a_2 = S_E T_{RA} + P_d A + S_B K_R -$

$T_{RB} S_B$; $a_3 = S_E A + B S_B$

დავუბრუნდეთ ჩვენ მაგალითს და ვნახოთ როგორი იქნება სტატიკური მდგრადობის პირობები რეგულირებადი მაგროველის პირობებში.

რეჟიმის პარამეტრებია $P_o = 1.5$; $Q_o = 0.01$; $P_g = 1,3$; $P_B = 0,3$; $K_R = 50$ და $T_R = 0.02$

ზემოთმოყვანილი ფორმულებით ვიანგარიშით მახასიათებელი განტოლების კოეფიციენტები:

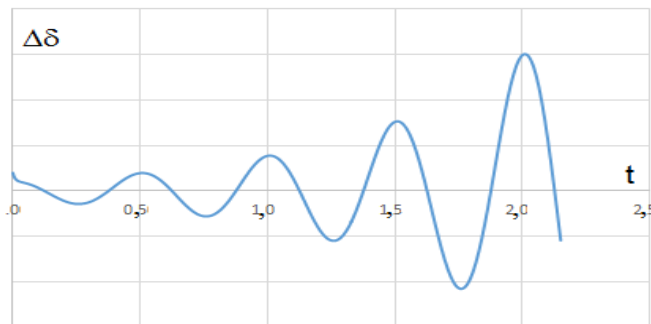
$$a_0 = 13115,2; a_1 = 4204,14; a_2 = -16,11; a_3 = 6,99$$

ვინაიდან ერთი კოეფიციენტი უარყოფითია, სტატიკური მდგრადობა დაირღვევა.

განტოლების ფესვებია

$$s_1 = -0,329; s_{2,3} = +0,0043 \pm j0,04$$

პროცესი განშლადია ნახ.97



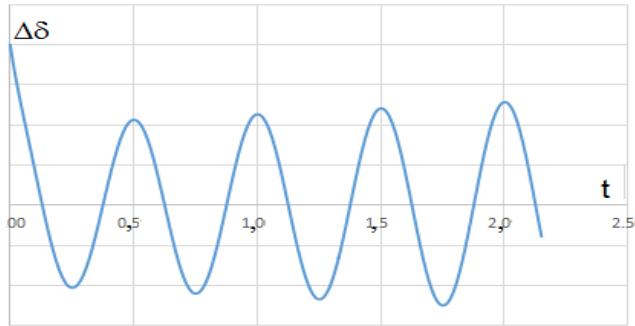
ნახ. 97. $\Delta\delta$ კუთხის ცვლილება რეგულირებადი ენერჯის დამაგროვებლის გათვალისწინებით როდესაც რეგულატორის დროის მუდმივა $T_R = 0.02$ და რეგულატორის გაძლიერების კოეფიციენტი $K_R = 50$

ამის გასწორება შეიძლება რეგულატორის „შენელებით“ , ანუ უარყოფითი უკუკავშირის შემოღებით. ფორმალურად ეს გამოიხატება რეგულატორის დროის მუდმივის გადიდებაში ავიღოთ $T_R = 0.05$ წამი. მახასიათებელი განტოლების კოეფიციენტები გახდება:

$$a_0 = 65576,23; a_1 = 4316,5; a_2 = 101,47; a_3 = 6,99$$

ყველა კოეფიციენტი დადებითია, მაგრამ ეს საკმარისი არ არის (უნდა შემოწმდეს მიხაილოვის კრიტერიუმით).

ამ შემთხვევაში ფესვები ტოლია $s_1 = -0,0667$; $s_{2,3} = +0,0004 \pm j0,041$

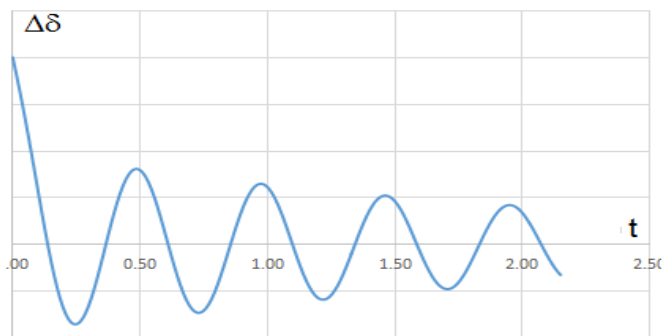


ნახ. 98. $\Delta\delta$ კუთხის ცვლილება რეგულირებადი ენერგიის დამაგროვებლის გათვალისწინებით როდესაც რეგულატორის დროის მუდმივა $T_R = 0.05$ და რეგულატორის გაძლიერების კოეფიციენტი $K_R = 50$

კუთხე მაინც იზრდება რხევითად იზრდება. კიდევ გავზარდოთ რეგულატორის დროის მუდმივა ავიღოთ $T_R = 0.08$ წამი. მახასიათებელი განტოლების კოეფიციენტები გახდება

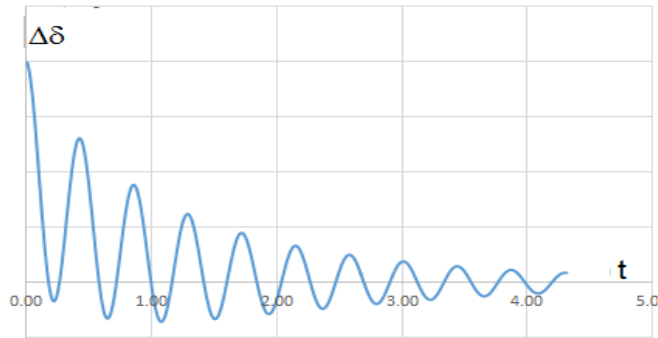
$$a_0 = 104922,23; \quad a_1 = 4399,5; \quad a_2 = 190,67; \quad a_3 = 6,99$$

$$\text{ფესვები ტოლია } s_1 = -0,039; \quad s_{2,3} = -0,0014 \pm j0,0412$$



ნახ. 99. $\Delta\delta$ კუთხის ცვლილება რეგულირებადი ენერგიის დამაგროვებლის გათვალისწინებით როდესაც რეგულატორის დროის მუდმივა $T_R = 0.08$ და რეგულატორის გაძლიერების კოეფიციენტი $K_R = 50$

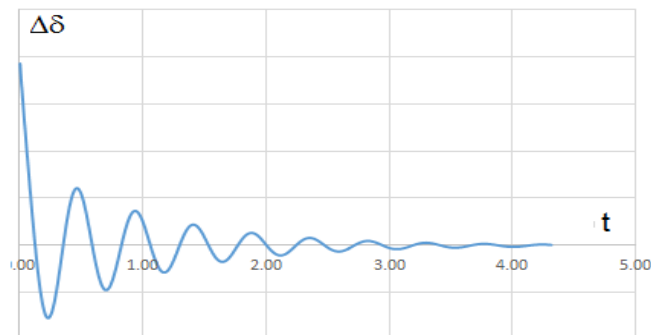
კუთხის ნაზრდი მიიღევა. სტატიკურად სისტემა მდგრადია. რეგულატორის უფრო დიდი დროის მუდმივა გამოიწვევს რხევების უფრო სწრაფ მიღევას, რაც კარგია, მაგრამ ბატარეის რეაქციის სწრაფქმედება მცირდება. მაგალითად: ავიღოთ $T_R = 0.5$ წმ, $a_0 = 104922,23$; $a_1 = 4399,5$; $a_2 = 190,67$; $a_3 = 6,99$; $s_1 = -0,039$; $s_{2,3} = -0,0014 \pm j0,0412$



ნახ. 100. $\Delta\delta$ კუთხის ცვლილება რეგულირებადი ენერჯის დამაგროვებლის გათვალისწინებით როდესაც რეგულატორის დროის მუდმივა $T_R = 0.5$ და რეგულატორის გაძლიერების კოეფიციენტი $K_R = 50$

ამიტომ საჭიროა ჩატარდეს დეტალური ანალიზი, რომ ვიპოვოთ გაძლიერების კოეფიციენტის და დროის მუდმივის კომპრომისული სიდიდეები.

მაგალითად $T_R = 0.05$ წამისათვის თუ ავიღებთ $K_R = 10$ და არა 50-ს, გვექნება:



ნახ. 101. $\Delta\delta$ კუთხის ცვლილება რეგულირებადი ენერჯის დამაგროვებლის გათვალისწინებით როდესაც რეგულატორის დროის მუდმივა $T_R = 0.05$ და რეგულატორის გაძლიერების კოეფიციენტი $K_R = 10$

აქედან გამომდინარე საჭიროა რეგულირებადი ელექტრული ენერჯის დამაგროვებლის შემთხვევაში რეგულატორის დროის მუდმივა და გაძლიერების კოეფიციენტი ისე შევარჩიოთ, რომ სისტემამ შეინარჩუნოს სტატიკური მდგრადობა.

დასკვნა

1. ელექტრულ ქსელში ენერჯის დამაგროვებლის გამოყენება საშუალებას იძლევა შევინახოთ ელექტრული ენერჯია იმ პერიოდის განმავლობაში როდესაც მოხმარება არის მინიმალური და გამოვიყენოთ საჭიროების მიხედვით როდესაც მოხმარება არის მაღალი.
2. ელექტრულ ქსელში განახლებადი ენერჯის წყაროების ინტეგრაციასთან ერთად უნდა მოხდეს ენერჯის დამაგროვებლის მოწყობა რათა გავაკომპენსიროთ გენერირებული სიმძლავრის რყევები;
3. ელექტრული ენერჯის დამაგროვებელი მაღალი ეფექტურობით გამოიყენება მზრუნავი რეზერვის როლში, ასევე გამორიცხავს ძაბვის და სიხშირის რყევებს ნებისმიერი სახის შემოტოების დროს.
4. სტატიკური სინქრონული კომპენსატორის გამოყენება უზრუნველყოფს სისტემაში ძაბვის სტაბილურ დონეს და ამაღლებს მისი მდგრადობის დონეს.
5. ენერჯის დამაგროვებლები მნიშვნელოვნად აუმჯობესებენ სისტემის დინამიურ მდგრადობას.

გამოყენებული ლიტერატურა

1. რუხვაძე მ. ნაჭყებია შ. ელექტრული სისტემების თანამედროვე დანადგარები. თბილისი: „სამშობლო“, 2018, 151 გვ.
2. რუხვაძე მ. ელექტრული სისტემების მდგრადობა. თბილისი: „უნივერსალი“, 2009, 183 გვ.
3. რუხვაძე მ. შოვნაძე გ. ზეგამტარული ენერჯის დამაგროვებლის გავლენა ელექტროსისტემის მუშაობაზე. „ენერჯია“, 2018, N2(86), 45-48 გვ.
4. არზიანი გ. რუხვაძე მ. შოვნაძე გ. ახალციხის ქვესადგურში სტატიკური კომპენსატორის გამოყენების შესახებ. „ენერჯია“, 2016, N 4(80), 70-73 გვ.
5. შოვნაძე გ. ენერჯის დამაგროვებლის გამოყენება სიხშირის რყევების ჩასაქრობად. „ინტელექტუალი“, 2018, N 35, 181-185 გვ.
6. <http://energystorage.org/energy-storage/energy-storage-technologies/pumped-hydro-power> 10.05.2018
7. <http://energystorage.org/compressed-air-energy-storage-caes> უკანასკნელად იქნა გადამოწმებული 17.09.2018
8. <http://energystorage.org/energy-storage/technologies/flywheels> უკანასკნელად იქნა გადამოწმებული 24.11.2017
9. <http://energystorage.org/energy-storage/technologies/iron-chromium-icb-flow-batteries> უკანასკნელად იქნა გადამოწმებული 24.01.2018
10. <http://energystorage.org/energy-storage/technologies/lithium-ion-lithium-ion-batteries> უკანასკნელად იქნა გადამოწმებული 2.08.2017
11. <http://energystorage.org/energy-storage/technologies/sodium-sulfur-nas-batteries> უკანასკნელად იქნა გადამოწმებული 27.10.2016
12. <http://energystorage.org/energy-storage/energy-storage-benefits/benefit-categories/renewable-integration-benefits> უკანასკნელად იქნა გადამოწმებული 14.09.2016
13. https://en.wikipedia.org/wiki/Synchronous_condenser უკანასკნელად იქნა გადამოწმებული 7.02.2019

14. https://en.wikipedia.org/wiki/Static_synchronous_compensator
უკანასკნელად იქნა გადამოწმებული 10.02.2019
15. <https://www.sciencedirect.com/topics/engineering/static-synchronous-compensators>
უკანასკნელად იქნა გადამოწმებული 18.02.2019
16. http://integrationworkshops.org/2019/wpcontent/uploads/sites/14/2017/09/GIZ17_094_posterpaper_Snehalkumar_Joshi.pdf
უკანასკნელად იქნა გადამოწმებული 07.05.2018