

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

ხელნაწერის უფლებით

მალხაზ დვალიძე

ჰიდროგენერატორების მუშაობის რეჟიმები
სტატორის გრაგნილის არასიმეტრიულობის პირობებში

დოქტორის აკადემიური ხარისხის მოსაპოვებლად
წარდგენილი დისერტაციის

ავტორეფერატი

სადოქტორო პროგრამა „ენერგეტიკა და ელექტროინჟინერია“, შიფრი 0405

თბილისი

2016 წელი

სამუშაო შესრულებულია საქართველოს ტექნიკურ უნივერსიტეტში
ენერგეტიკისა და ტელეკომუნიკაციის ფაკულტეტი
ელექტროენერგეტიკისა და ელექტრომექანიკის დეპარტამენტი

სამეცნიერო ხელმძღვანელი: ტ.მ.დ. პროფესორი, იაკირ ბიჯამოვი

რეცენზენტები: -----

დაცვა შედგება 2016 წლის "-----" -----, ----- საათზე
საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის ენერგეტიკისა და
ტელეკომუნიკაციის ფაკულტეტის სადისერტაციო საბჭოს კოლეგიის
სხდომაზე, კორპუსი VIII, აუდიტორია -----
მისამართი: 0175, თბილისი, კოსტავას 77.

დისერტაციის გაცნობა შეიძლება სტუ-ს ბიბლიოთეკაში,
ხოლო ავტორეფერატისა – სტუ-ს ვებგვერდზე

სადისერტაციო საბჭოს მდივანი
ასოცირებული პროფესორი

გ. გიგინეიშვილი

თემის აქტუალურობა

ელექტრული ენერჯის გამომუშავების საიმედოობა და ენერგეტიკული რესურსების გამოყენების ეფექტურობა - ნებისმიერი ენერგეტიკული სისტემის ფუნქციონირების ხარისხის ძირითად მაჩვენებლებს წარმოადგენენ. ეს პირველ რიგში ეხება ენერგოსისტემაში შემავალ ელექტროსადგურებს და მათი მუშაობის რეჟიმებს და პირობებს. საქართველოს ენერგოსისტემისათვის განსაკუთრებით აღსანიშნავია მოთხოვნები ჰიდროელექტროსადგურების საიმედო და ეფექტური მუშაობის მიმართ, რომლებიც უზრუნველყოფენ ქვეყანაში გამომუშავებული ელექტრული ენერჯის უდიდეს ნაწილს.

საქართველოს ჰიდროელექტროსადგურების, არსებული რელიეფიდან გამომდინარე, დამახასიათებელია დამონტაჟებული ჰიდროაგრეგატების შედარებით მცირე რაოდენობა. ხშირ შემთხვევაში ეს ორ ან სამ აგრეგატიანი სადგურებია, ხოლო უკანასკნელ წლებში გაჩნდა ერთ აგრეგატიანი ელექტროსადგურების დაპროექტების ტენდენცია. ასეთ შემთხვევებში რომელიმე ჰიდროგენერატორის დაზიანება და ხანგრძლივ რემონტზე გაჩერება, განსაკუთრებით წყალმოვარდნის პერიოდში, გამოიწვევს ელექტროსადგურის გამომუშავების საგრძნობ დაქვეითებას და ხშირ შემთხვევაში წყლის იძულებით დაღვრას.

ელექტროსადგურების მუშაობის საიმედოობა ნორმალურ და ექსტრემალურ პირობებში უზრუნველყოფილია ძირითადად ელექტროენერჯის წარმოების შესაბამისი ტექნოლოგიით, ნაგებობებისა და ელექტრომოწყობილობების ხარისხით, მართვისა და რეგულირების სისტემების გამართული მუშაობით და სხვა პირობებით, რის გათვალისწინებაც ხდება პროექტირების ეტაპზე. მაგრამ შესაძლებელია და უნდა გამოიყენებოდეს, განსაკუთრებით ექსტრემალურ და ავარიულ პირობებში, საიმედოობის ზრდის და საექსპლუატაციო მოქნილობის დამატებითი ზომები. პირველ რიგში გამოყენებული უნდა იქნას ის

დამატებითი ზომები, რომლებიც არ მოითხოვენ დამატებით დაფინანსებას და ამავდროულად იძლევიან საგრძნობ ეკონომიკურ ეფექტს არა მარტო ელექტროენერჯის გამომუშავების იმედიანობის გაზრდით, არამედ ენერგორესურსების დაზოგვით და მათი რაციონალური ხარჯვით.

როგორც წესი, ეს არის ელექტრული მოწყობილობის მუშაობის სპეციალური რეჟიმები, რომლებიც ხელს უწყობენ ელექტროენერჯის წარმოების საიმედოობასა და ეფექტურობას როგორც ავარიული სიტუაციების დადგომის დროს, ასევე ძირითადი ელექტრომოწყობილობის რემონტის და მასთან დაკავშირებული ელექტროსადგურის სიმძლავრის შემცირების პერიოდებში.

ექსპლუატაციისათვის შეიძლება დამუშავდეს ამგვარი ანორმალური რეჟიმები, რომელთა გამოყენება შეიძლება განსაკუთრებულ სიტუაციაში ელექტრული ენერჯის გამომუშავების ამალგების მიზნით. ერთ-ერთი მათგანი, შესაბამისი შესწავლის და გამოკვლევის შემდეგ, შეიძლება იყოს ჰიდროგენერატორის მუშაობის რეჟიმი სტატორის გრაგნილის ხელოვნური არასიმეტრიით. იგულისხმება გენერატორის მუშაობა სტატორის გრაგნილის ფაზის პარალელურ შტოებში დაზიანებული ხვიის სქემიდან გამორთვით გამოწვეული არასიმეტრია. სწორედ ამ საკითხების გამოკვლევას ეძღვნება წინამდებარე სამუშაო.

კვლევის მიზანი და კვლევის ძირითადი ამოცანები

კვლევის მიზანს წარმოადგენს გამოკვლეული იქნას ჰიდროგენერატორის მუშაობის რეჟიმი სტატორის გრაგნილის ხელოვნური არასიმეტრიით და ამგვარი რეჟიმის გამოყენების ტექნიკური შესაძლებლობა განსაკუთრებულ შემთხვევებში ელექტროსადგურის მიერ ელექტრული ენერჯის გამომუშავების საიმედოობისა და ეფექტურობის ასამალგებლად. კერძოდ, გამოკვლეული უნდა იქნას გენერატორის რელეური დაცვის მუშაობა ამ ანორმალურ რეჟიმში, მისი დასაშვები ფარგლების დასადგენად.

ამ მიზნის მისაღწევად საჭირო ხდება რიგი ამოცანების და საკითხების გადაჭრა, რაც დაკავშირებულია გენერატორში მიმდინარე ელექტრომაგნიტურ პროცესებთან, რომელიც გამოწვეულია სტატორის გრაგნილში გაჩენილი არასიმეტრიით. მათ შორისაა:

- ფაზის ერთ-ერთი დაზიანებული განშტოების მქონე გრაგნილის ელექტრომამოძრავებელი და მაგნიტომამოძრავებელი ძალები;
- არატოლფასოვანი პარალელური განშტოებების მქონე გრაგნილის ფაზაში არსებული მათანაბრებელი დენები;
- გენერატორის საერთო ასიმეტრია;
- გათიშული და შემოკლებული ხვიის მქონე სტატორის უბანში არსებული არაკომპენსირებული მაგნიტური ნაკადი;
- აღნიშნული ნაკადის ზეგავლენა დანაკარგებზე სტატორის ფოლადსა და პოლუსის ბუნიკში;
- პულსირებადი ელექტრომაგნიტური მომენტი;
- როტორის ლილვის ძაბვა და სასაკისრე დენების წარმოქმნის საშუალება;
- წარმოშობილ არასიმეტრიასთან დაკავშირებული დამატებითი დანაკარგები, მათი გავლენა გახურებაზე და გენერატორის მქკ-ზე;
- სარელეო დაცვის მუშაობა, დანაყენების მგრძობიარობის დაქვეითების აუცილებლობის განსაზღვრა, მისი მუშაობის საიმედოობის შეფასება და სხვა.

გამოკვლევის მეთოდოლოგია

ნაშრომში გამოყენებულია მათემატიკური ანალიზისა და საინჟინრო გამოთვლების მეთოდები. საკითხები განხილულია ელექტრული მანქანების თეორიის გამოყენებით და კერძოდ ჰიდროგენერატორებში მიმდინარე ელექტრომაგნიტური პროცესების ანალიტიკური გამოკვლევით.

პრაქტიკული ღირებულება

ნაშრომში მიღებული შედეგების ელექტროსადადგურებზე გამოყენება გვაძლევს საშუალებას ექსტრემალურ სიტუაციებში, როდესაც ავარიულად მწყობრიდან გამოდის ერთ-ერთი გენერატორი, სადგურის გამომუშავება არ იყოს მნიშვნელოვნად დაქვეითებული. კერძოდეს სტატორის გრაგნილის დაზიანების გამო, გენერატორის დიდი ხნით გაჩერების ნაცვლად შესაძლებელია გენერატორი მუშაობაში ჩაართოს მცირე დროში, სტატორის გრაგნილის ხელოვნური ასიმეტრიით, შესაბამისი შეზღუდული პირობებით. ეს მიიღწევა იმით, რომ მოკლე დროში დაზიანებული ხვეები შეიძლება იყოს გამორთული სქემიდან სტატორის გრაგნილში ზღუდარის დადებით. ეს გვაძლევს საშუალებას ამ ექსტრემალურ სიტუაციაში მაქსიმალურად იყოს გამოყენებული წყლის რესურსი, გაზრდილი ელექტროენერჯის გამომუშავების საიმედოობა, რაც საბოლოო ჯამში იძლევა საგრძნობ ეკონომიკურ ეფექტს.

ნაშრომის ძირითადი შედეგები და მეცნიერული სიახლე

გამოკვლეულია გენერატორის ანორმალური რეჟიმის გამოყენების შესაძლებლობა ექსტრემალურ სიტუაციებში, ელექტროსადადგურის მიერ ელექტროენერჯის გამომუშავების იმედიანობის ასამაღლებლად. ამის დასადგენად გამოკვლეულია ყველა მოქმედი ფაქტორი რომელიც თან ახლავს ამგვარ არასიმეტრიულ რეჟიმს, სხვა ელექტრომაგნიტურ ფაქტორებთან ერთად ყველაზე მნიშვნელოვანი აღმოჩნდა გამათანაბრებელის დენის გავლა დაზიანებული ფაზის შტოებში, რომელიც ზემოქმედებას ახდენს გრაგნილის გახურებაზე და რელეური დაცვის მუშაობაზე. კრტმოდ ეს ეხება განივი დიფერენციალური დაცვის გამართულ მუშაობას. გამოკვლევამ გვიჩვენა, რომ განივი დიფერენციალური დაცვის მუშაობა არ იქნება შეფერხებული განსაზღვრულ პირობებში, რომელიც განპირობებულია კონკრეტული გენერატორის კონსტრუქციული თავისებურებებით და დაზიანებული ხვეების

რაოდენობით. მოცემულია კონკრეტული გენერატორის მაგალითზე სტატორის გრაგნილის ხელოვნური არასიმეტრიული რეჟიმით მუშაობაზე გადასვლის პირობები.

ნაშრომის აპრობაცია

ნაშრომის ძირითადი დებულებები და შედეგები მოხსენებულ იქნა საერთაშორისო სამეცნიერო-ტექნიკურ კონფერენციაზე:

თემის დასახელება „ჰიდროგენერატორების ანორმალური რეჟიმების გამოყენების შესაძლებლობები“. / სტუ-ს სტუდენტთა 83-ე ღია საერთაშორისო სამეცნიერო კონფერენცია. (თბილისი, 2015 წ).

ნაშრომის პუბლიკაცია

სადისერტაციო ნაშრომის ძირითადი მასალები გამოქვეყნებულია სამ სამეცნიერო სტატიაში.

1. Я.Биджамов, М.Двалидзе. Об использовании аномальных режимов работы гидрогенераторов. „ენერგია“ №1(73), 2015. გვ. 5-8.

2. Я.Биджамов, М.Двалидзе. Режим работы генератора с искусственной несимметрией в обмотке статора. „ენერგია“ №2(74), 2015. გვ. 36-40.

3. მალხაზ დვალაძე. „განივი დიფერენციალური დაცვის ანალიზი ჰიდროგენერატორის სტატორის გრაგნილის ხვეების დაზიანებისას“. საერთაშორისო სამეცნიერო ჟურნალი „ინტელექტუალი“. №31. 2016. გვ. 214–220.

ნაშრომის მოცულობა და სტრუქტურა

ნაშრომის ტექსტური ნაწილი შედგება შესავლის, ხუთი თავის, ერთი ცხრილის ოცი სურათის, 38 დასახელების გამოყენებული ლიტერატურის ჩამონათვალის, ძირითადი დასკვნების და დანართებისაგან. ნაშრომის მოცულობა შეადგენს 103 გვერდს ცხრილებისა და სურათების ჩათვლით.

სამუშაოს მოკლე შინაარსი

შესავალში დასაბუთებულია სადისერტაციო თემის აქტუალურობა. აღნიშნულია, რომ ელექტროსადგურების მუშაობის საიმედოობა ნორმალურ და ექსტრემალურ პირობებში უზრუნველყოფილია ძირითადად ელექტროენერჯის წარმოების შესაბამისი ტექნოლოგიით, ნაგებობებისა და ელექტრომოწყობილობების ხარისხით, მართვისა და რეგულირების სისტემების გამართული მუშაობით და სხვა პირობებით, რის გათვალისწინებაც ხდება პროექტირების ეტაპზე. მაგრამ შესაძლებელია და უნდა გამოიყენებოდეს, განსაკუთრებით ექსტრემალურ და ავარიულ პირობებში, საიმედოობის ზრდის და საექსპლუატაციო მოქნილობის დამატებითი ზომები. პირველ რიგში გამოყენებული უნდა იქნას ის დამატებითი ზომები, რომლებიც არ მოითხოვენ დამატებით დაფინანსებას და ამავდროულად იძლევიან საგრძნობ ეკონომიკურ ეფექტს არა მარტო ელექტროენერჯის გამომუშავების იმედიანობის გაზრდით, არამედ ენერგორესურსების დაზოგვით და მათი რაციონალური ხარჯვით.

როგორც წესი, ეს არის ელექტრული მოწყობილობის მუშაობის სპეციალური რეჟიმები, რომლებიც ხელს უწყობენ ელექტროენერჯის წარმოების საიმედოობასა და ეფექტურობას როგორც ავარიული სიტუაციების დადგომის დროს, ასევე ძირითადი ელექტრომოწყობილობის რემონტის და მასთან დაკავშირებული ელექტროსადგურის სიმძლავრის შემცირების პერიოდებში.

შეიძლება მოიძებნოს ამგვარი ანორმალური რეჟიმები, რომელთა გამოყენება შეიძლება განსაკუთრებულ სიტუაციაში ელექტრული ენერჯის გამომუშავების ამალღების მიზნით. ერთ-ერთი მათგანი, შესაბამისი შესწავლის და გამოკვლევის შემდეგ, შეიძლება იყოს წინამდებარე ნაშრომში წარმოდგენილი ჰიდროგენერატორის მუშაობის რეჟიმი სტატორის გრაგნილის ხელოვნური არასიმეტრიით. იგულისხმება გენერატორის მუშაობა სტატორის

გრაგნილის ფაზის პარალელურ შტოებში დაზიანებული ხვიის სქემიდან გამორთვით გამოწვეული გრაგნილის არასიმეტრიულობა.

ვინაიდან გამოკვლევა ეხება უჩვეულო რეჟიმებს, ყურადღება უნდა გამახვილებულ იქნეს ჰიდროელექტროსადგურზე ხანგრძლივი არასიმეტრიული რეჟიმების გამოყენების შესაძლო ვარიანტებზე, მათ მიზანშეწონილობაზე და განხორციელების შესაძლებლობის ტექნიკურ და მეცნიერულ დასაბუთებაზე.

პირველ თავში განხილულია საკითხის მდგომარეობა, ნაჩვენებია საქართველოს ენერგოსისტემაში გასულ წლებში არსებული ექსპლუატაციის პირობები და სადგურების ძირითადი ელექტრომომწობილობის მუშაობის მძიმე რეჟიმები.

ენერგოსისტემის მოწყობილობები კერძოდ ჰიდროგენერატორები რომლებიც უნიკალურია, ექსპლუატაციაში იმყოფებიან ხანგრძლივ და რთულ პირობებში, უმეტეს მათგანს ამოწურული აქვთ მუშაობის რესურსი.

ჰიდროგენერატორების ექსპლუატაციის დროს არც ისე იშვიათია სტატორის გრაგნილის ღეროების დაზიანების შემთხვევები, რაც საკმაოდ მძიმე ავარიას წარმოადგენს, ეს იწვევს გენერატორზე დიდი დროით რემონტის ჩატარების საჭიროებას (იხ. სურ. 1), რის გამოც ხდება ელექტროენერჯის გამომუშავების საიმედოობის დაქვეითება და ხშირ შემთხვევაში წყლის არამწარმოებლურ დაღვრა, რაც ეკონომიკურად არახელსაყრელია. გარდა ამისა აუცილებელია იმ გარემოების გათვალისწინება, რომ ჰიდრო-ელექტროსადგურიდან ელექტროენერჯის ბოლომდე არდაშვება ხშირ შემთხვევაში შევსებულ უნდა იქნეს თბოელექტროსადგურის მიერ, რასაც ასევე ემატება ფინანსური და ეკოლოგიური ეფექტურობა.

სტატორის გრაგნილის ხანგრძლივი და სრულყოფილი (როტორის ამოღებით) რემონტის დროის არარსებობის გამო (სადგურის ან მთელი ენერგოსისტემის მუშაობის პირობებიდან გამომდინარე), შეიძლება დაყენდეს

დროებითი შესაკრავები, რომლებიც თიშავენ მუშაობიდან დაზიანებულ ღეროებს. ამის შედეგად სტატორის გრაგნილის ერთი ან რამოდენიმე ხვია გამოიყვანება გრაგნილის სქემიდან, რითაც იქმნება ხელოვნური არასიმეტრია სტატორის გრაგნილის ფაზაში, კერძოდ მის პარალელულ შტოებში. ეს ხანმოკლე რემონტი სრულდება სტატორის გრაგნილის შუბლური ნაწილების მიდამოში ჰიდროგენატორის როტორის ამოღების აუცილებლობის გარეშე. ამასთანავე გენერატორი მინიმალური დროის შემდეგ, რომელიც აუცილებელია აღნიშნული ოპერაციის შესასრულებლად, შეიძლება ჩაირთოს მუშაობაში. სურ. 1-ზე ნაჩვენებია დაზიანებული სტატორის გრაგნილის შუბლური ნაწილი.



**სურ.1. დაზიანებული სტატორის
გრაგნილი.**

ამასთან დაკავშირებით აუცილებელია მუშაობის აღნიშნული რეჟიმის დეტალური გამოკვლევა, რათა მოხდეს გენერატორისა და მთლიანად სადგურის ენერგეტიკულ და სანდომიან მუშაობაზე მისი ნეგატიური ზეგავლენის რეალური შეფასება.

გამოკვლევის პროცესში განხილულ უნდა იქნეს ყველა მოქმედი ფაქტორი, რომელიც დაკავშირებულია ჰიდროგენერატორის აქტიურ ნაწილებში არსებულ ელექტრომაგნიტურ პროცესებზე სტატორის გრაგნილის ფაზის პარალელური განშტოების არასიმეტრიის გავლენასთან.

როგორც წინასწარმა გამოკვლევამ გვიჩვენა, ერთ-ერთ ყველაზე არსებულ და მნიშვნელოვან ფაქტორს წარმოადგენს სტატორის გრაგნილის ფაზაში ერთი პარალელური განშტოების გადატვირთვის ხელისშემწყობი მათანაბრებელი დენების წარმოქმნა, რაც არ შეიძლება არ აისახოს ჰიდროგენერატორის აქტიური ნაწილების გახურებაზე, რელეური დაცვის მუშაობის საიმედოობასა და სხვა ზემოთ მოყვანილ ფაქტორებზე.

პრაქტიკაში ამ ანორმალური რეჟიმის, სტატორის გრაგნილის ფაზაში ხელოვნური არასიმეტრიით, გამოყენებისასათვის საჭიროა შესწავლილი იყოს ყველა მოქმედი ფაქტორი, რათა გათვალისწინებული და შეზღუდული იქნეს ამ ფაქტორების ნეგატიური გავლენა ჰიდროგენერატორებზე.

მეორე თავში განხილულია გრაგნილის სრულყოფილი რემონტის და მოკლევადიანი რემონტის შედარება.

მოკლევადიანი რემონტი ითვალისწინებს დაზიანებული ხვიების სქემიდან გამოთიშვას შუბლურ ნაწილში, რითაც ხდება გენერატორის სტატორის გრაგნილის ხელოვნური არასიმეტრიის შექმნა.

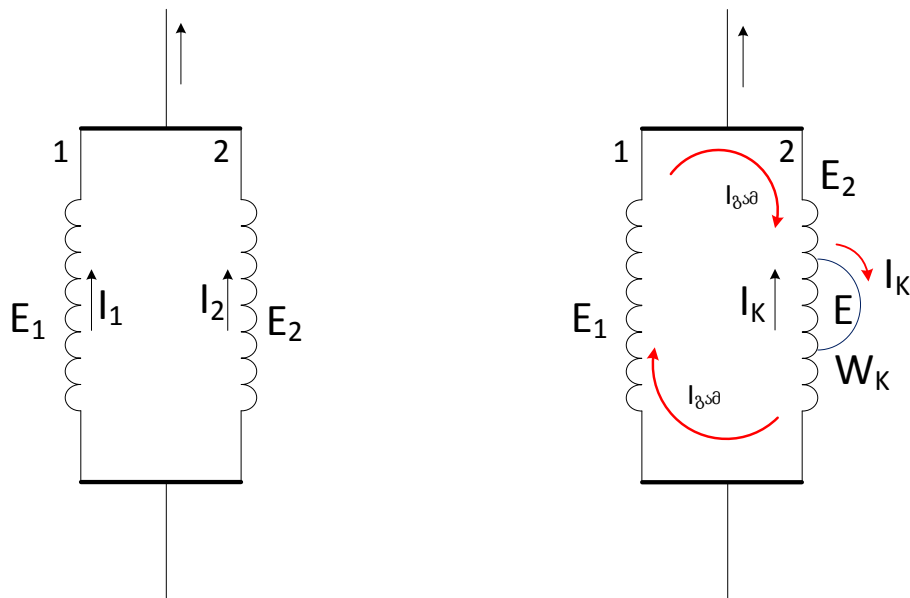
მოყვანილია ამ რემონტებისათვის საჭირო ოპერაციების მოცულობები და ღირებულებები. ნაჩვენებია, რომ ამ არასიმეტრიული რეჟიმის გამოყენება იძლევა ეკონომიკურ ეფექტურობას არამარტო ელექტროენერჯის გამომუშავების საიმედოობის გაზრდით, არამედ ამ მოკლევადიანი რემონტის ჩატარების სიმარტივესა და სიიაფეში, რომელიც შეიძლება თითქმის ათჯერ განსხვავდებოდეს სრულყოფილი რემონტისაგან გენერატორის როტორის ამოღებით.

მესამე თავში გაანალიზებულია ყველა რელეური დაცვის მუშაობა ჰიდროგენერატორის სტატორის გრაგნილში ხელოვნური არასიმეტრიის რეჟიმში და შერჩეულია ის დაცვები, რომლის მუშაობაზე ძირითადად მოქმედებს აღნიშნული რეჟმი. აღმოჩნდა რომ ამ რეჟიმთან მეტად დამოკიდებულია გენერატორის განივი დიფერენციალური დაცვა.

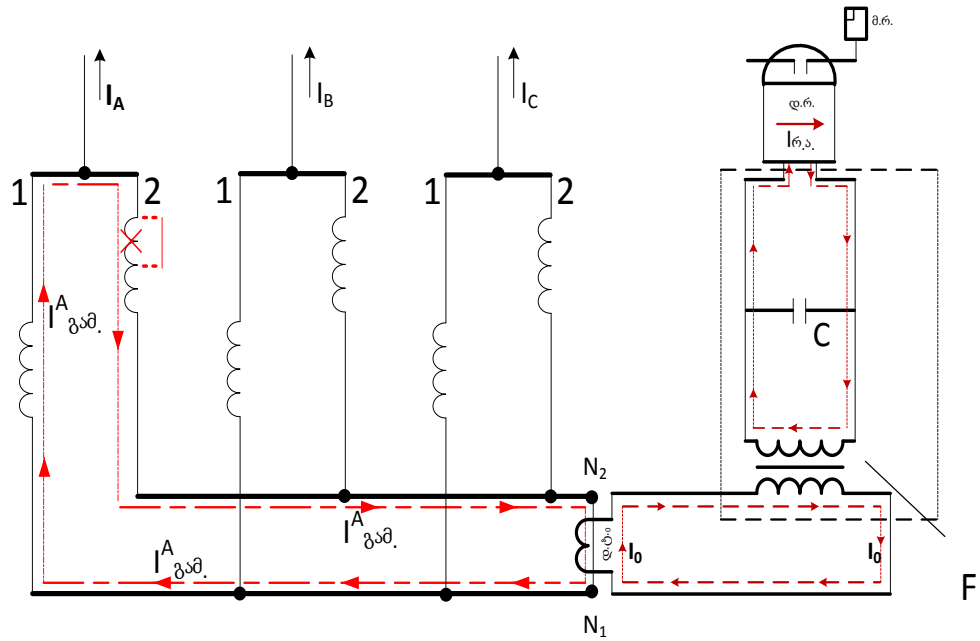
გენერატორის განივი დიფერენციალური დაცვა.

ხვიებს შორის დამოკლებისას დაცვის განხორციელებას აქვს შეზღუდული გამოყენება, რადგანაც მისი განხორციელებისათვის მარტივი ხერხები არ არსებობს.

მხოლოდ მძლავრი გენერატორებისათვის, სადაც ცალკეული ფაზები შესრულებული არის გარეთ გამოტანილი ორი ან სამი პარალელური შტოს საშუალებით (სურ. 2. ა), დამუშავებული არის დაცვის შედარებით მარტივი და საიმედო სქემები. (გენერატორის განივი დიფერენციალური დაცვა წარმოდგენილია სურ. 2. ბ).



ა) ფაზის პარალელურ შტოებს შორის დენების განაწილება.



სურ. 2.

**ბ) გენერატორის განივი დიფერენციალური დაცვა
ერთსისტემიანი დაცვის სქემა.**

გენერატორის ცალკეული ფაზის პარალელურ 1 და 2 შტოებში ნორმალურ რეჟიმში და გარე მოკლედ შერთვის დროს დაინდუქცირდება სიდიდით და ფაზით ერთნაირი ე.მ.დ.-ები E_1 და E_2 (სურ.2.ა). პარალელური შტოების წინააღობა არის ერთნაირი და ამიტომ შტოებში დენები I_1 და I_2 , ნორმალურ რეჟიმში და გარე მოკლედ შერთვის დროს, აგრეთვე არის ტოლი ერთმანეთის სიდიდით და ფაზით.

ერთი ფაზის ხვეების ნაწილის დამოკლების შემთხვევაში W_K დამოკლებულ ხვეებში E_K ე.მ.დ.-ის ზემოქმედებით აღიძვრება მოკლედ შერთვის დიდი დენი I_K , რომელიც ცირკულირებს დამოკლებულ წრედში.

დაზიანებული შტოს წინააღობა და ე.მ.დ. მცირდება დამოკლებული W_K ხვეების გამო. შედეგად ირღვევა E_1 და E_2 ე.მ.დ.-ებს შორის არსებული ბალანსი და ამის გამო წარმოიქმნება ე.მ.დ.

$$\Delta E = E_1 - E_2, \quad (1)$$

რომლის ზემოქმედებით დაზიანებული ფაზის კონტურში აღიძვრება გამათანაბრებელი დენი.

$$I_{\text{გამათ.}} = \frac{E_1 - E_2}{X_1 + X_2} \quad (2)$$

სადაც: X_1 და X_2 არიან 1 და 2 შტოს ინდუქციური წინაღობები; აქტიური წინაღობები მათი სიმცირის გამო მხედველობაში არ მიიღება; ხოლო E_1 და E_2 არიან დაუზიანებელი და დაზიანებული შტოების ე.მ.ძ.-ები.

რაც უფრო მცირეა დამოკლებულ ხვიათა რაოდენობა, მით უფრო მცირეა განსხვავება E_1 და E_2 ე.მ.ძ.-ებს შორის და შესაბამისად მცირდება გამათანაბრებელი დენის სიდიდე $I_{\text{გამათ.}}$ (2 გამოსახულების თანახმად).

გენერატორის სტატორის პარალელურ შტოებში დენების ტოლობის დარღვევა, რომელსაც ადგილი აქვს ხვიების დამოკლების დროს და გამათანაბრებელი დენის $I_{\text{გამათ.}}$ წარმოქმნა გამოყენებული არის აღნიშნული სახის დაზიანებისას დაცვის განხორციელებისათვის.

გენერატორის ფაზის ხვიებს შორის დამოკლებისაგან დასაცავად გამოყენებული არის განივი დიფერენციალური დაცვა, რომელიც დაფუძნებული არის ორი პარალელური შტოს დენების შედარებაზე. ასეთი შედარება შეიძლება განხორციელდეს დაცვის სამსისტემიანი და ერთსისტემიანი სქემების გამოყენებით.

სამსისტემიან სქემაში გათვალისწინებული არის შტოების დენების შედარება ცალკეულ ფაზებში. ამ მიზნით სქემაში გამოყენებული არის სამი დენის რელე. ცალკეული რელე ჩართული არის A, B და C ფაზების პარალელური შტოების დენების სხვაობაზე.

ერთსისტემიანი სქემა შესრულებული არის ერთი დიფერენციალური რელეს გამოყენებით, რომელშიც ხდება სამივე ფაზის პარალელური შტოების ჯამური დენების შედარება. 1 შტოს დენების ჯამი $I_{A1} + I_{B1} + I_{C1}$ დიფერენციალურ რელეში შედარებული არის 2 შტოს დენების ჯამთან

$I_{A2} + I_{B2} + I_{C2}$. პრაქტიკაში გავრცელება ჰპოვა განივი დიფერენციალური დაცვის ერთსისტემიანმა სქემამ და ამიტომ იგი განხილული არის ქვემოთ.

ერთსისტემიანი დაცვის სქემა მოცემული არის სურ.2. ბ-ზე. საგენერატორო ძაბვის მხარეს ფაზაში გრაგნილები შეერთებული არიან ერთმანეთთან და გამოდიან საერთო გამომყვანით; ნეიტრალის მხარეს A, B და C ფაზების სამი პარალელური 1 შტო და სამი პარალელური 2 შტო შეერთებული არიან ვარსკვლავად ცალცალკე ორი გამომყვანილი N_1 და N_2 ნეიტრალით. ეს ნეიტრალები ერთმანეთთან დაკავშირებული არიან ნულოვანი სადენით

$N_1 - N_2$ ნულოვანი სადენის წრედში ჩართული არის დენის ტრანსფორმატორი დ.ტ. მის მეორად გრაგნილთან F ფილტრის გავლით მიერთებული არის დენის (დ.რ.) რელე. ფილტრი ატარებს მხოლოდ 50ჰც სიხშირის დენს და ახშობს მაღალი სიხშირის ჰარმონიკებს, მათ შორის მესამე ჰარმონიკას.

სქემიდან ჩანს რომ $N_1 - N_2$ ნულოვან სადენში დენი I_0 რომელიც კვებავს დენის რელეს დ.რ. ტოლი არის 1 და 2 შტოების ნულოვანი მიმდევრობის დენების სხვაობის

$$I_{\Sigma.ს.} = (I_{A1} + I_{B1} + I_{C1}) - (I_{A2} + I_{B2} + I_{C2}) = 3I_{01} - 3I_{02} \quad (3)$$

სადაც I_{01} და I_{02} არიან 1 და 2 პარალელური შტოების ნულოვანი მიმდევრობის დენები.

ნორმალურ რეჟიმში თითოეული ვარსკვლავის ფაზების დენების გეომეტრიული ჯამი, $I_{A1} + I_{B1} + I_{C1} = 0$ და $I_{A2} + I_{B2} + I_{C2} = 0$ ტოლი არის ნულის.

გარე ქსელში სამფაზა და ორფაზა მოკლედ შერთვების დროს თითოეულ ვარსკვლავში მოკლედ შერთვის დენების ჯამი აგრეთვე ტოლი არის ნულის.

ამრიგად ორთავე შემთხვევაში დენი $N_1 - N_2$ ნულოვან სადენში ტოლი არის $I_{\Sigma.ს.} = 0$ ნულის და რელე არ მუშაობს. სინამდვილეში გენერატორის

ფაზების პარალელური შტოების ე.მ.დ.-ბის მრუდის ფორმის გარკვეულწილად დამახინჯების გამო წარმოიქმნება მესამე ჰარმონიკის დენები $3I_1^{(3)}$ და $3I_2^{(3)}$. ეს დენები ემთხვევიან ფაზით, იკრიბებიან ნულოვან სადენში $N_1 - N_2$ და წარმოქმნიან ჯამურ დენს $3I_1^{(3)} - 3I_2^{(3)} = 3I^{(3)}$.

პარალელური შტოების ე.მ.დ.-ების E_{A1} და E_{A2} , E_{B1} და E_{B2} , E_{C1} , და E_{C2} არაზუსტი ტოლობის გამო თითოეული ფაზის კონტურში ჩნდება ძირითადი სიხშირის გამათანაბრებელი დენი $I_{გამ.А}$, $I_{გამ.В}$, $I_{გამ.С}$; გამათანაბრებელი დენი და მესამე ჰარმონიკის დენი იკვრებიან თითოეული ფაზის პარალელური შტოების კონტურში და გადიან ნულოვან სადენში $N_1 - N_2$;

$$I_{ნ.ს.} = \left(3I_1^{(3)} - 3I_2^{(3)} \right) + \left(I_{გამ.А} + I_{გამ.В} + I_{გამ.С} \right) = 3I^{(3)} + I_{გამ.} \quad (4)$$

მესამე ჰარმონიკის დენები F ფილტრის გამოსასვლელზე არ არსებობენ. გამათანაბრებელი დენი არის 50ჰც სიხშირის და ამიტომ იგი დაბრკოლების გარეშე გადის რელეში და წარმოქმნის უბალანსობის დენს.

$$I_{უბ.} = I_{გამ.А} + I_{გამ.В} + I_{გამ.С} = I_{გამ.} \quad (5)$$

დაცვა იმოქმედებს როცა $I_{გამ.} > I_{დ.ა.}$ ამიტომ დაცვის არასწორი მოქმედების აღმოსაფხვრელად საჭიროა $I_{დ.ა.} > I_{უბ.}$; ერთ-ერთი ფაზის შტოში ხვიების დამოკლების შემთხვევაში, როგორც ნაჩვენებია იყო, ირღვევა დაზიანებული ფაზის შტოებში დენების ტოლობა და ჩნდება გამათანაბრებელი დენი, რომელიც გამოითვლება (2) ფორმულით.

ეს დენი გადის ნულოვან სადენში $N_1 - N_2$; და იწვევს რელეში დენის გაჩენას

$$I_{რ} = \frac{I_{გამ.}}{n_{ტ}} \quad (6)$$

დაცვა იმოქმედებს როცა $I_{გამ.} > I_{დ.ა.}$

ვინაიდან გამათანაბრებელი დენის სიდიდე მცირდება, დამოკლებული ხვიათა რიცხვის რაოდენობის შემცირებით, დაცვას გააჩნია მკვდარი ზონა. იგი

არ მოქმედებს როცა $I_{გამ.} > I_{დ.ა.}$; დაცვა მოქმედებს არა მარტო ხვიების დამოკლების დროს, არამედ დაცვამ შეიძლება იმოქმედოს აგრეთვე სტატორში ფაზათაშორის მოკლედ შერთვების და ერთი ფაზის შტოებს შორის დამოკლების დროს, რადგანაც ასეთ დროს ირღვევა ე.მ.ძ.-ბის და დაზიანებული ფაზის პარალელური შტოების დენების ტოლობის პირობები. ნულოვან სადენის დენის ტრანსფორმატორი დ.ტო, რომელიც კვებავს დაცვის დენურ წრედს, შეირჩევა დატვირთვის დენის გათვალისწინების გარეშე, რადგანაც მასში დენი ჩნდება ხანმოკლე დროით, მხოლოდ დაზიანების წარმოქმნის დროს. მისი ტრანსფორმაციის კოეფიციენტი შეირჩევა შემდეგი გამოსახულებით

$$n_{ტ} = \frac{0,25 \cdot I_{ნომ.გ.}}{5}$$

დაცვის ამუშავების დენის სიდიდე უნდა იყოს მეტი ვიდრე უბალანსობის დენი, რომელიც ჩნდება რელეში გარე მოკლედ შერთვის დროს

$I_{დ.ა.} = K_{იმ} \cdot I_{უბ.მაქ.}$ ექსპლოატაციის გამოცდილებიდან გამომდინარე დებულობენ $I_{დ.ა.} = (20 \div 30) I_{ნომ.გ.}$

დაცვის განხორციელებისათვის გამოყენებული არის PT – 40 ტიპის რელე, რომლის სქემაც ნაჩვენებია არის სურ.2. ბ-ზე. რელეს გრაგნილის წინაღობა და C კონდენსატორის ტევადობა შერჩეული არის ისე, რომ მესამე ჰარმონიკის დენები, რომლებიც ცირკულირებენ N_1 და N_2 ნეიტრალების შემაერთებელ სადენში ძირითადად იკვრებიან C კონდენსატორში. ამის გამო რელეს ამუშავების $I_{რ.ა.}$ დენი 150 ჰვ სიხშირის დენის დროს არის 10-ჯერ უფრო დიდი ვიდრე 50ჰვ. სიხშირის დენის დროს. რელეს ამუშავების დენის სიდიდე რეგულირდება დ.რ.-ს ტრანსფორმატორის გამომყვანებით და რელეს ზამბარით (1.75÷8.8) ა-ს ზღვრებში.

დაცვის ძირითად დადებით თვისებას წარმოადგენს ის რომ იგი არის მარტივი და სწრაფმოქმედი. ხოლო მის უარყოფით მხარედ ითვლება მკვდარი ზონის არსებობა.

მეოთხე თავში წარმოდგენილია გამათანაბრებელი დენების ანგარიში, რადგან სწორედ ამ დენის სიდიდეზეა დამოკიდებული რელეური დაცვის მუშაობა. იმისათვის რომ განვრავდეთ გენერატორის რელეური დაცვის დანაყენის კოეფიციენტის ცვლილების დიაპაზონი, საჭიროა ვიანგარიშოთ გამათანაბრებელი დენები.

ვანალიძებთ რა პროცესს, რომელიც მიმდინარეობს გამორთული გაუმართავი დეროთი მომუშავე გენერატორის ფაზაში, შეიძლება აღინიშნოს, რომ „გადამოკლების“ დაყენების გზით გრაგნილში ხვის გამოთიშვა ფაქტიურად გამორთავს ფაზის ერთ-ერთი პარალელური განშტოების ორ დეროს, ან ერთ კოჭას. აქედან გამომდინარე მთელ პარალელურ განშტოებაში, ისე როგორც სხვა ფაზების დანარჩენ ოთხ განშტოებაში აღიძვრება ე.მ.ძალა, რისი მოქმედი მნიშვნელობაც იქნება

$$E_{\text{გ}} = \frac{2\pi}{\sqrt{2}} \cdot f \cdot w \cdot k_w \cdot \Phi_m \quad (7)$$

სადაც:

k_w - ფაზის საგრავნილე კოეფიციენტი, რომელიც შედგება გრაგნილის დამოკლებისა და განაწილების კოეფიციენტებისაგან;

$$k_w = k_y \cdot k_p$$

Φ_m - ნახევარპერიოდული მაგნიტური ნაკადის ამპლიტუდა;

w - ფაზის მიმდევრობით ხვიების რაოდენობა,

$$w = \frac{2 \cdot p \cdot w_k \cdot q}{a}$$

ერთ-ერთი მიმდევრობითი კოჭების ჯგუფის ფაზის „აღდგენილ“ განშტოებაში იქნება ერთი ხვიით ან კოჭით ნაკლები, ვიდრე დანარჩენ ჯგუფებში. კოჭური ჯგუფის ე.მ.ძ-ის მნიშვნელობა $\frac{2 \cdot p}{a}$ - ჯერ ნაკლები იქნება, ვიდრე $E_{\text{გ}}$.

$$E_{\mathcal{X}} = q \cdot \frac{2\pi}{\sqrt{2}} \cdot f \cdot w_{\mathcal{J}} \cdot k_y \cdot k_p \cdot \Phi_m \quad (8)$$

გამომდინარე აქედან შემცირებული ჯგუფისათვის

$$E'_{\mathcal{X}} = (q-1) \cdot \frac{2\pi}{\sqrt{2}} \cdot f \cdot w_{\mathcal{J}} \cdot k'_y \cdot k'_p \cdot \Phi_m \quad (9)$$

ვნათ, შეიძლება თუ არა k'_p ჩვენი შემთხვევისათვის, როცა არ იცვლება კუთხეები კოჭებს შორის და იცვლება მხოლოდ კოჭების რაოდენობა ჯგუფში

$$\alpha z = \frac{tz}{\tau} \cdot \pi = \frac{2\pi}{z} \cdot P$$

ფაზის გრაფილის მ.მ.მ (მაგნიტომამოძრავებელი ძალა) -ის ანალოგიურად შევასრულოთ შეჯამება ჯგუფში მყოფი კოჭების ე.მ.მ-ების ძირითადი ჰარმონიკებისა (სურ.3).

მაგ. კოჭური ჯგუფისათვის $q = 4$

$$OA = OB = \frac{E_{1m}}{2 \cdot \sin \frac{\alpha z}{2}};$$

$$E_{\mathcal{X}m.} = 2 \cdot (OA) \cdot \sin \frac{q \cdot \alpha z}{2} = E_{1m} \frac{\sin \frac{q \cdot \alpha z}{2}}{\sin \frac{\alpha z}{2}} \quad (10)$$

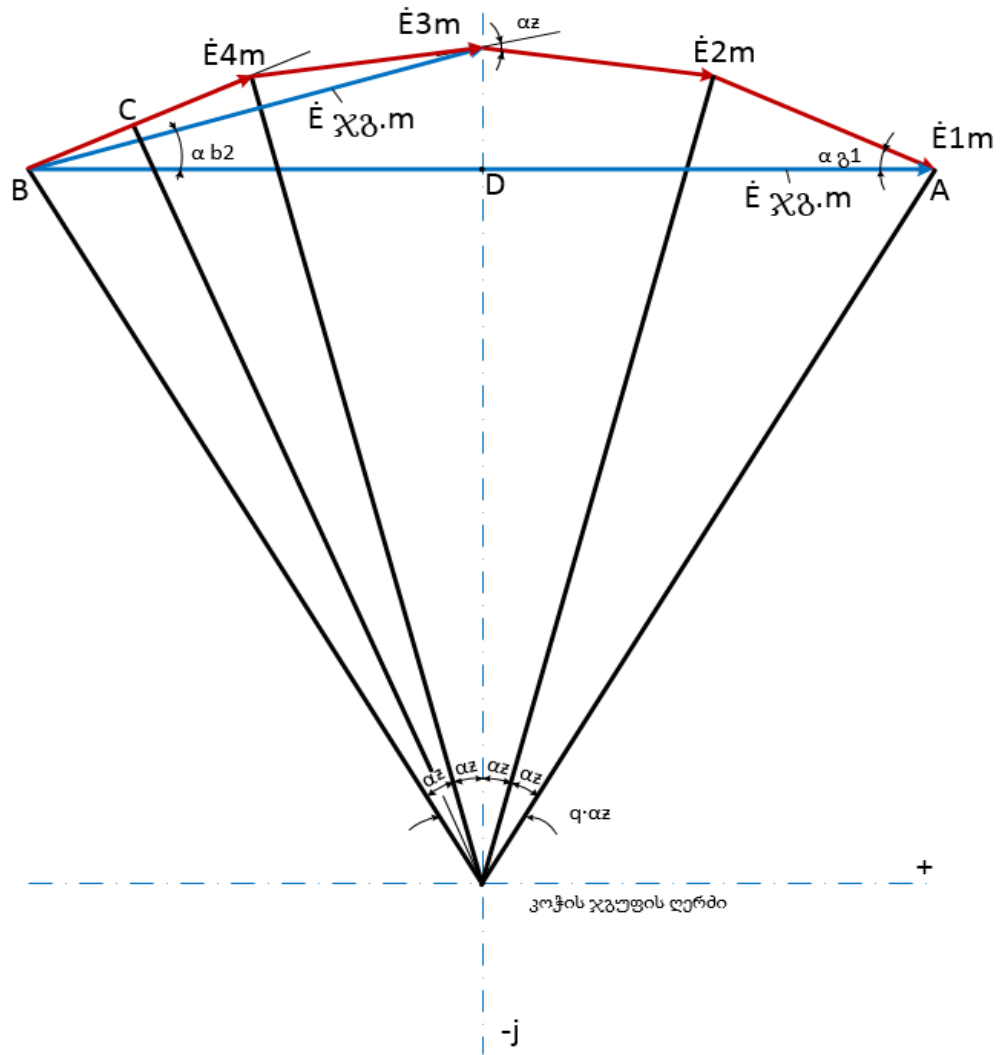
4 კოჭისაგან შემდგარი კოჭური ჯგუფის განაწილების კოეფიციენტი ძირითადი ჰარმონიკისათვის:

$$k_w = \frac{E_{\mathcal{X}m.}}{q \cdot E_{1m}} = \frac{\sin \frac{q \cdot \alpha z}{2}}{q \cdot \sin \frac{\alpha z}{2}} \quad (11)$$

იგივე ნახაზის მიხედვით, მაგრამ $q' = 2$ შემთხვევისათვის და იგივე αz კუთხეებისათვის, OA უცვლელი რჩება, ხოლო

$$E'_{\mathcal{X}m.} = 2(OA) \cdot \sin \frac{q' \cdot \alpha z}{2} = E_{1m} \cdot \frac{\sin \frac{q' \cdot \alpha z}{2}}{q' \cdot \sin \frac{\alpha z}{2}}; \quad (12)$$

$$k'_{p1} = \frac{E'_{\mathcal{X}m.}}{q' \cdot E_{1m}} = \frac{\sin \frac{q' \cdot \alpha z}{2}}{q' \cdot \sin \frac{\alpha z}{2}} \quad (13)$$



სურ. 3.

ამგვარად კოჭური ჯგუფის ე.მ.ძ-ის განსაზღვრისას არ შეიძლება უბრალოდ ე.მ.ძ-ის შემცირება იმ კოჭების რიცხვის მიხედვით, რომლებიც აკლია, არამედ საჭიროა გათვალისწინებული იქნას განაწილების კოეფიციენტის k'_p -ს ახალი მნიშვნელობა. გამომდინარე აქედან „დაზიანებული” კოჭური ჯგუფის ე.მ.ძ-ის მოქმედი მნიშვნელობა იქნება

$$\frac{E'_{\text{ჯგ.მ}}}{E_{\text{ჯგ.მ}}} = \frac{(q-1)}{q} \cdot \frac{k'_p}{k_p} \quad (14)$$

ნაწილი სხვა, დაუზიანებელი კოჭური ჯგუფებისა ხრამჰეს-II-ის (წილადი რიცხვით q) გენერატორის გრაგნილს აქვს „დიდი“ (5_5 კოჭით) და „მცირე“ (4_4 კოჭით) კოჭური ჯგუფები. ნაშრომში განხილულია ყველაზე რთული შემთხვევა, როცა არა გვაქვს ერთი კოჭი „მცირე“ ჯგუფში. ეს არის ყველაზე უფრო მოსალოდნელი შემთხვევა, რადგან „მცირე“ კოჭური ჯგუფების რაოდენობა გაცილებით მეტია, ვიდრე „დიდისა“.

ამრიგად, აღმოჩნდა, რომ ნაჩვენები განსხვავება ე.მ.ძ-ებისა პარალელურად შეერთებულ ფაზების შტოებს შორის, მათში გამათანაბრებელ დენს $I_{გაძ}$ იწვევს. ამ დენს იწვევს შტოებში საპირისპირო პოლარულობის ძაბვების ვარდნა, რასაც საბოლოო ჯამში მივყავართ პარალელურ შტოებში ძაბვების გაწონასწორებისაკენ $U'_{ფ} = U''_{ფ} = E_{fcp}^{ბაძ}$ რასაკვირველია დაზიანებული ფაზის ძაბვა ნაკლები იქნება „ჯანმრთელისაზე“, რომელიც გენერატორის უქმი სვლის დროს უტოლდება აღძრულ ე.მ.ძალას E_f და ერთმანეთისაგან ჩამორჩენილ სივრცულ და ელექტრულ კუთხეს 120° . განვიხილოთ, რას წარმოადგენს „დაზიანებული“ ფაზის პარალელურ განშტოებათა კონტურში გამათანაბრებელი დენის გზის წინაღობა.

როგორც ცნობილია, სინქრონული მანქანის ღუზის გრაგნილის ფაზას აქვს აქტიური წინაღობა და განსაზღვრული ინდუქტიური წინაღობა, რომელიც დაკავშირებულია ურთიერთინდუქციების ველებთან და ღუზის გრაგნილის დენებისაგან გაფანტვასთან. აღზნებული გენერატორის უქმი სვლის განხილულ შემთხვევაში, გამათანაბრებელი დენი, რომელიც იკვრება დაზიანებული ფაზის პარალელურ განშტოებათა კონტურში, გარდა აქტიური წინაღობისა, დაკავშირებული იქნება გრაგნილის ფაზის გაფანტვის ინდუქტიურ წინაღობასთან. მიახლოებითი თანატოლობის დროს ფაზის შტოებში მთავარი ინდუქციური წინაღობის გრძივი და განივი ღერძების გასწვრივ და მათში საპირისპიროდ მიმართული გამათანაბრებელი დენების შემთხვევაში, ამ გრაგნილების ურთიერთინდუქციის მაგნიტური ველები

იქნებიან დაკომპენსირებული და ფაზის განშტოებების კონტურში მარეზულტირებელი ნაკადი თითქმის ნულის ტოლი იქნება.

აქედან გამომდინარე, დაზიანებული ფაზის კონტურში გამათანაბრებელი დენი ძირითადად განისაზღვრება ფაზის განშტოებების აქტიური წინაღობით და მათი გაფანტვის ინდუქტიური წინაღობით. ეს გარკვეულად ჩანს სურ. 4-ზე, სადაც გენერატორ $CB \frac{430}{210} - 14$ -თვის ნაჩვენებია A ფაზის შტოებში გამათანაბრებელი დენი. აღმოჩნდა, გრაგნილის სქემა ისეთია, რომ ფაზის ნაჩვენებ განშტოებებში მიმდინარეობს ღრმულეებში დეროების რიგრიგობითი ცვლა.

მეხუთე თავში განხილულია პრაქტიკული მაგალითი ხრამქვეს-II-ის გენერატორის სტატორის გრაგნილში ხელოვნური არასიმეტრიით გამოწვეული გამათანაბრებელი დენების ანგარიში.

კოჭის ან ერთი ხვიის ე.მ.დ.-ის მოქმედი მნიშვნელობა უნდა განისაზღვროს შემდეგი ფორმულებით:

დაზიანებულ ფაზაში გამათანაბრებელი დენი:

$$\dot{I}_{გაშ} = \dot{I}'_1 = \frac{\dot{E}'_p - \dot{E}''_p}{(R'_1 + R''_1) + j(X'_{\sigma 1} + X''_{\sigma 1})} \quad (15)$$

ანდა:
$$I_{გაშ} = \frac{E'_p - E''_p}{\sqrt{(R'_1 + R''_1)^2 + (X'_{\sigma 1} + X''_{\sigma 1})^2}} \quad (16)$$

ამასთან ერთად ერთი დეროს ან ერთი ხვიის გამოთიშვისას გრაგნილში:

$$\dot{E}'_p - \dot{E}''_p = \dot{E}_k \quad (17)$$

ამიტომ:
$$I_{გაშ} = \frac{E_k}{\sqrt{(R'_1 + R''_1)^2 + (X'_{\sigma 1} + X''_{\sigma 1})^2}} \quad (18)$$

მაგრამ ჩვენს შემთხვევაში უფრო მოსახერებელია გამოვიყენოთ ის გარემოება, რომ რეალურ მანქანაში უქმი სვლის ე.მ.დ, ცნობილია. ამის გამო E_k შეიძლება განისაზღვროს, როგორც სტატორის გრაგნილის ხვიისათვის საშუალო სიდიდე:

$$E_k = \frac{E_H}{\sqrt{3} \cdot q \cdot d} = \frac{10500}{\sqrt{3} \cdot 30} = 202,1 \text{ ვოლტი};$$

$$I_{გაბ} = \frac{202,1}{\sqrt{(0,00756+0,00731)^2+(0,164+0,154)^2}} = 635 \text{ ამპერი.}$$

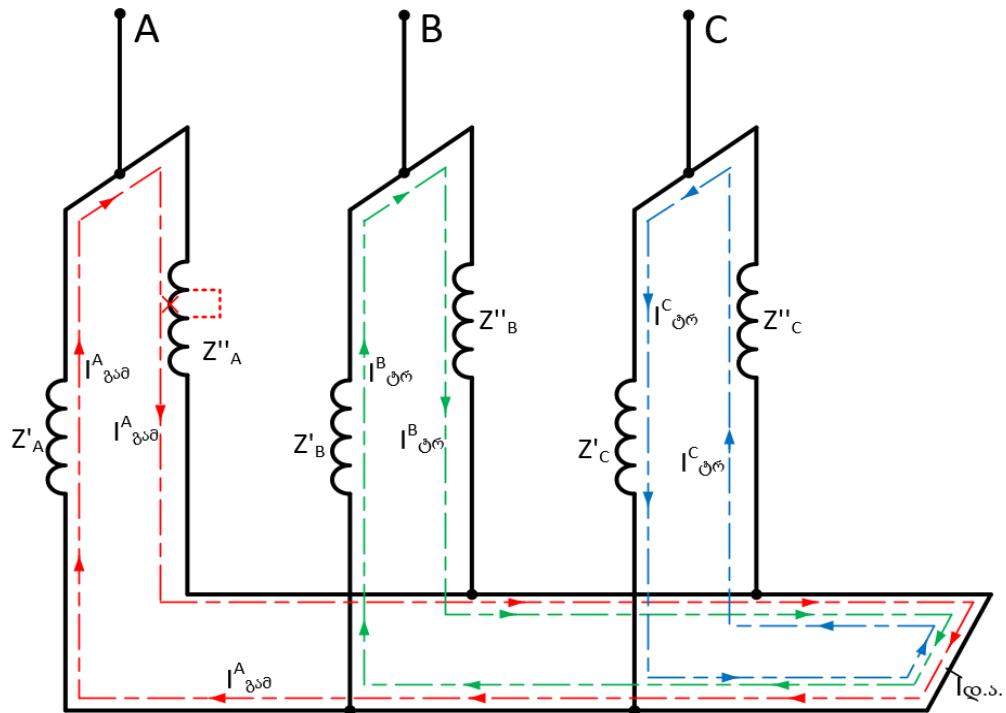
ჩვენ მივიღეთ იმ გამათანაბრებელი დენის მნიშვნელობა, რომელსაც ექნებოდა ადგილი 1 ფაზის შემთხვევაში (მაგ. A) მითითებული არასიმეტრიით. მაგრამ სტატორის ზოგიერთ ღრმულებში A ფაზის გრაგნილის ღეროებთან ერთად განლაგებულია B და C ფაზების პარალელური განშტოების ღეროები. ამ საერთო ღრმულებში სვა ფაზების ღეროები აღმოჩნდება გაფანტვის მაგნიტური ნაკადით მოცული, რომელიც იკვრება A ფაზის ღეროებში გამავალ დენთან ანუ გამათანაბრებელ დენთან. ამასთან მათში აღიძვრება ტრანსფორმატორული ე.მ.ძ. იმის გათვალისწინებით, რომ გრაგნილის ყველა ფაზის ღეროების შეერთების სქემა იდენტურია, შეიძლება დავასკვნათ, რომ ღეროებში აღძრული ე.მ.ძ, ისევე, როგორც A ფაზის პარალელურ განშტოებებში, ასევე B და C ფაზებში, იქნებიან მიმართული შეთანმებულად. გარდა ამისა, იმის გამო, რომ ეს პარალელური განშტოებები შეკრულებია თავის თავთან, მოსალოდნელია მათში წარმოიქმნას ტრანსფორმატორული დენები $I_{ტრ}^B$ და $I_{ტრ}^C$.

საერთო ღრმულებში ამ დენების მიმართულება, თუკი არ მივიღებთ მხედველობაში ღეროს აქტიური წინაღობის გავლენას გაფანტვის ინდუქციურ წინაღობასთან შედარებით, A ფაზის ღეროებში დენის მიმართულების პირდაპირსაწინააღმდეგო იქნება. შესაბამისად $I_{ტრ}^B$ და $I_{ტრ}^C$ დენებიდან გაფანტვის მაგნიტურ ნაკადს საერთო ღრმულებში განმამაგნიტებელი ხასიათი ექნება. ამგვარად B და C დაუზიანებელ ფაზებში აღძრული დენები დაკავებული იქნება A ფაზის $I_{გაბ}$ დენით, რომელიც მოცემულ შემთხვევაში წარმოადგენს, ტრანსფორმატორის ანალოგიურად, დენს პირველად გრაგნილში.

$I_{ტრ}^B$ და $I_{ტრ}^C$ დენები განისაზღვრება ტრანსფორმატორის ე.მ.ძ-ის $E_{ტრ}$ -ის სიდიდით, აგრეთვე პარალელური განშტოებების აქტიური და ინდუქტიური წინაღობებით, რომლებიც გრაგნილის გადანაწილების სქემიდან გამომდინარე,

შეიძლება ჩაითვალოს თანაბრად. ეს მოსაზრება გამომდინარეობს იქიდან, რომ A ფაზის გრაფილში „გამოთიშულ“ ხვიას ექნება „გამოთიშული“ ღერო მხოლოდ ერთ „საერთო“ ღრმულში ან A ანდა C ფაზებთან. ამის გამო ამ გრაფილებში აღძრული ე.მ.ძ-ები განსვავებული იქნებიან ერთი ღეროს ე.მ.ძ-სგან, რომელიც შეგვიძლია მხედველობაში არ მივიღოთ (პარალელურ განშტოებებში 120 ღეროს შემთხვევაში.)

აღნიშნოთ კიდევ ერთი ფაქტორი: იმის გამო, რომ ღეროები, რომლებიც ეკუთვნის სტატორის (გარშემოწერილობის) გრაფილის ფაზების პარალელურ განშტოებებს რიგრიგობით იცვლებიან გამათანაბრებელი და აღძრული დენები ფაზებში შეთანხმებული მიმართულებისაა (იხ.სურ.4). ამასთან განსხვავება შეიძლება იყოს პარალელური განშტოებების გამომყვანების შეერთებაში ნულოვან აწყობაში. იმ შემთხვევაში, როცა ერთმანეთს ემთხვევა ფაზების ერთნაირი დასახელების პარალელური განშტოებების შეერთებები ნულოვან სალტებზე, დაცვის დენი $I_{და.ა}$ შემაერთებელ სალტეში, სადაც დაყენებულია განივი დაცვისათვის დენის ტრანსფორმატორი, წარმოადგენს სხვაობას გამათანაბრებელ და აღძრულ დენებს შორის. შეიძლება ადგილი ჰქონდეს შემთხვევას, როცა B და C ფაზების განშტოებები ისეთია, რომ აღნიშნული დენები შემაერთებელ სალტეში ერთმანეთს ემატება. სურ. 4-ზე ნაჩვენებია ვარიანტი, როდესაც B და C ფაზების გამოსავლების შეერთება განსხვავებულია. ასეთ შემთხვევაში დენები ურთიერთსაწინააღმდეგოდაა მიმართული და დაცვის დენი $I_{და.ა}$ შედგება დენისაგან $I_{გა.ბ}$ და აღძრული დენების სხვაობისაგან. შევაფასოთ $I_{გა.ბ}$ დენების სიდიდე. აღძრული ე.მ.ძ-ის სიდიდე დამოკიდებულია სადი გრაფილის ღეროების მაქსიმალურ ნაკადშეწიდულობაზე „საერთო“ ღრმულებში გაფანტვის ნაკადთან. ეს ნაკადშეწიდულობა ღრმულის ზედა და ქვედა ღეროებისათვის სხვადასხვაა, რაც გამოწვეულია ღრმულის მაგნიტური გამტარობის შემდგენელის რამდენადმე განსხვავებულობით.



სურ. 4.

გაფანტვის ნაკადის მაგნიტური გამტარობის დანარჩენი შემდგენები უცვლელი რცება. ამის გამო შემაფასებელი ანგარიშების საკმარისი სიზუსტისათვის შეიძლება დავუშვათ, რომ ღეროები გასაშუალებულ პირობებში იმყოფებიან. აქედან გამომდინარე ე.მ.ძ-ის აღძვრა ღეროს აქტიურ ნაწილში გაფანტვის ნაკადის ცვლილების ხარჯვაზე ხდება მხოლოდ, ანუ ღრმულის რაიონში და კბილანების თვისების გასწვრივ. ამასთან ტრანსფორმაციის კოეფიციენტი ერთის ტოლი იქნება. გრაგნილის განაწილების სქემის მიხედვით ნათელია, რომ A ფაზის ღეროებთან ერთად საერთო ღრმულში იმყოფება B ფაზის 30 „ქვედა“ ღერო და C ფაზის 30 „ზედა“ ღერო. როგორც ზემოდ იყოს აღნიშნული, აღძრული ე.მ.ძ B ფაზის ღეროებში, რომლებიც მდებარეობს ღრმულის ფსკერზე, იქნება მეტი სიდიდის, ვიდრე C ფაზის ზედა ღეროებში, ღრმულის სიმაღლის გასწვრივ ღრმულური გამტარობის კოეფიციენტის სვადასხვაობის ხარჯზე. ამასთან ერთად, როგორც უკვე ავღნიშნეთ, შემაფასებელ ანგარიშებში ამ განსვავებულობას

უგულებელვყოფთ. თუ B და C ფაზებში აღძრული დენის წილი იქნება მნიშვნელოვანი სიდიდის, მაშინ ეს განსხვავება შემდგომში უნდა იყოს გათვალისწინებული.

გამომდინარე აქედან, სურ. 4 -ის თანამად შემაერთებელ სალტეში $I_{დ.ა}$ დენს შეიძლება ჰქონდეს შემდეგი მნიშვნელობები:

$$I_{დ.ა} = I_{გაბ}^A \pm I_{გაბ}^B \pm I_{გაბ}^C \quad (19)$$

ან $I_{დ.ა} = 635 \div 845$ ამპერი.

უნდა აღინიშნოს, რომ მითითებული ანგარიში შესრულებულია დაშვებებით, რომლებიც გამათანაბრებელი დენის სიდიდეს მაღლა სწევენ, რაც გვაძლევს საიმედო მარაგს ამ დენის მავნე გავლენების განსაზღვრისას. უფრო სწორი იქნებოდა, რომ ამ დენის განსაზღვრისას მხედველობაში ყოფილიყო მიღებული აგრეთვე მაგნიტური ნაკადუმბულობის სხვაობა (ან დაუზიანებელი განშტოების ერთი ხვიის წინააღმდეგობით), რომელიც ისაზღვრება მთავარი ინდუქტიურობის ნაწილით, რაც შეამცირებდა დენის სიდიდეს.

ამასთან შემაფასებელმა ანგარიშმა აჩვენა, რომ ეს წინააღმდეგობა ერთი ხვიისათვის ძალიან მცირეა ორივე განშტოების გაფანტვის ინდუქტიურ წინააღმდეგობასთან შედარებით, ამიტომ ანგარიშში იგი გათვალისწინებული არ არის.

ძირითადი დასკვნები

1. ელექტრომაგნიტური პროცესების ანალიზი, რომელიც თან სდევს ჰიდროგენერატორის მუშაობის რეჟიმს სტატორის გრაგნილის „ხელოვნური ასიმეტრიით“, გამოავლინა რიგი ფაქტორებისა, რომელიც მოქმედებს ჰიდროგენერატორის ტექნიკურ მდგომარეობაზე და მის იმედიან მუშაობაზე. მნიშვნელოვან ფაქტორებთან ერთად, როგორცაა ფაზის პარალელურ განშტოებებში გამათანაბრებელი დენების გაჩენა და მასთან დაკავშირებული არადაზიანებული განშტოებაში დენური გადატვირთვა და ტემპერატურის გაზრდა, – შეიძლება გამოვყოთ აგრეთვე რელეური დაცვის მუშაობის

პირობები და ბლოკის და საერთოდ სადგურის რელეური დაცვის საიმედო ფუნქციონირება.

2. ჰიდროგენერატორის სტატორის გრაგნილის „ხელოვნური ასიმეტრიით“ მუშაობის რეჟიმის რელეური დაცვის მოქმედებაზე გავლენის განსასაზღვრავად განხილულია ჰიდროგენერატორებზე გამოყენებული ყველა სახის რელეური დაცვები, მათი მოქმედების პრინციპი და გავრცელების არეალი. შესრულებული ანალიზიდან ჩანს, რომ სტატორის გრაგნილის ფაზების პარალელულ შტოებში შექმნილი ხელოვნური არასიმეტრიის შემთხვევაში, პირველ რიგში უნდა რეაგირებდეს გენერატორის განივი დიფერენციალური დაცვა, რომლის დანაყენის კოეფიციენტსაც შეიძლება მოუწიოს გაუხეშება, რაც საბოლოო ჯამში იმოქმედებს მის საიმედო მუშაობაზე. ეს ყველაფერი დაკავშირებულია გამათანაბრებელი დენის სიდიდესთან, რომელიც თავის მხრივ დამოკიდებულია კონკრეტული გენერატორის სტატორის გრაგნილის კონსტრუქციული პარამეტრებთან და გამორთული დაზიანებული ხვეების რაოდენობასთან.

3. გამათანაბრებელი დენის ანგარიშმა კონკრეტულ მაგალითზე (ხრამ ჰეს-2 ის გ-2 CB $\frac{430}{210}$ – 14 ტიპის გენერატორზე) გვიჩვენა, რომ ერთი გათიშული ხვიის პირობებშიც კი მოცემული ტიპის გენერატორის სტატორის გრაგნილის ფაზის ერთ-ერთ პარალელურ არადაზიანებულ განშტოებაში გამავალმა დენმა შეიძლება 20%-ით გადააჭარბოს ნომინალურს, რაც იწვევს დანაკარგების ზრდასა და, შესაბამისად, გრაგნილის 40%-ზე ზემოდ გახურებას.

4. ყოველივე ზემოთ მოხსენებული გვაძლევს საშუალებას ვიმედოვნოთ, რომ სტატორის გრაგნილის ფაზებში ხელოვნური არასიმეტრიის შემთხვევაში ჰიდროგენერატორის მუშაობაში ამგვარი რეჟიმის გამოყენება განსაკუთრებულ შემთხვევებში შესაძლებელია. მაგრამ ეს განხორციელებადია ყველა მოქმედი ფაქტორების დეტალური გამოკვლევის შემდეგ, რომლებიც თან ახლავს გენერატორის ამგვარ ანორმალურ რეჟიმს. ამ გამოკვლევის საფუძველზე

კონკრეტული ელექტროსადგურის გენერატორებისათვის უნდა იყოს განხორციელებული შესაბამისი ღონისძიებები და რელეური დაცვის დანაყენები. შედეგად შეთავაზებულ უნდა იქნეს მკაფიო პირობები, გადასვლასთან და მის პრაქტიკულ განხორციელებასთან დაკავშირებული შეზღუდვები. გარდა ამისა, თითოეულ კონკრეტულ შემთხვევაში შეფასებულ უნდა იქნეს ეკონომიკური ეფექტურობა და სტატორის გრაგნილში ასიმეტრიის მქონე ჰიდროგენერატორის მუშაობის რეჟიმის გამოყენების მიზანშეწონილობა.

დისერტაციის ძირითადი მასალები გამოქვეყნებულია შემდეგ შრომებში

სადისერტაციო ნაშრომის ძირითადი მასალები გამოქვეყნებულია სამ სამეცნიერო სტატიაში.

1. Я.Биджамов, М.Двалидзе. Об использовании аномальных режимов работы гидрогенераторов. „ენერგია“ №1(73), 2015. გვ. 5-8.

2. Я.Биджамов, М.Двалидзе. Режим работы генератора с искусственной несимметрией в обмотке статора. „ენერგია“ №2(74), 2015. გვ. 36-40.

3. „ჰიდროგენერატორების ანორმალური რეჟიმების გამოყენების შესაძლებლობები“. / სტუ-ს სტუდენტთა 83-ე ღია საერთაშორისო სამეცნიერო კონფერენცია. (თბილისი, 2015 წ.).

4. მალხაზ დვალიძე. „განივი დიფერენციალური დაცვის ანალიზი ჰიდროგენერატორის სტატორის გრაგნილის ხვეების დაზიანებისას“. / საერთაშორისო სამეცნიერო ჟურნალი „ინტელექტუალი“. №31. 2016. გვ. 214–220.

Resume

In the previous labour, there is researched ability of hydrogeneratos abnormal regimes using in special cases for improving electical energy generation liability and efficiency.

It`s known, that substations working liability in normal and extreme terms is mainly ensured by the corresponding production technology, the quality of electric equipment, automation and regulation systems exact and adequate working and etc, everything is considered during detail planning. But it possible and must used additionally liability optimizing and maintenance flexibility in extreme and failure terms. First of all, it must be used the additional measures, which does not demands additional financing and gives us economical effect with energetically resources economy and rational consumption, but also witch the growth of electrical energy generation liability.

As a rule, these are electrical equipments special regimes of working, which assists electrical energy generation liability and efficiency in failure situations and also main electrical equipments repairing moments.

In practice of hydro power station maintenance, it is known abnormal regime using. The main purpose is to make increase energy economical efficiency. The best example of this is Saiano-Shushenskaia hydropower station block working in non symmetrical regime, While damaging of phase of block transformer or during repairing processes, the part block's power can be transmitted by other two phase, without turning off of aggregates. In this case, generators and power stations working regimes are characterized with total asymmetry of currents between generators` phases, which produces negative and zero electromagnetic fields. This kind of currents asymmetry (asymmetry between phases) is restricted and defined with "technical maintenance rules".

The other, but resembling abnormal regimes, which we can use in special cases for improving and increasing electrical energy generation quantity. After studying and researching, one of this is hydro generator working regime with stator winding artificial asymmetry, which is researched in previous labour. There is consider generator working after turning off the stator winding parallel branch with damaged coil, which causing asymmetry of phase winding.

During the maintenance of hydro generator, it is not quite rare damage of stator winding stalk, which is quite hard failure to improve. Without so much time for fully repairing stator winding (taking out rotor), the main reason of this is that energetic system has his own working terms. In this case, it's possible to install temporal buckle, which turns off damaged stack. After this, the one of the stator winding coil must turn off from winding scheme, which was producing the artificial asymmetry in stator winding phase. This temporal repairing process is done without

necessity of taking out rotors of hydro generator. Herewith, hydro generator can be turn on, after the time which is necessity for the repairing process.

For our system it's very profitable to use generators abnormal regimes, in special cases. For Georgian hydropower stations is typical little quantity of installed hydro aggregates compared to other countries. The main reason is the peculiarity of nature. In often cases those are hydro stations with two or three aggregates, but in the nearest future there is tendency of planning hydro stations with one aggregate. In this case, after damage one of generators or turning off for repairing process during the flood period, it can provoke decrement of hydropower station generation and in often cases pouring of water.

In that way, it was necessary to research working regime of hydro generator with artificial asymmetry of stator winding and using the possibility of similar cases for increasing the liability and efficiency in special cases. Generator relay protection liable working in this abnormal regime ought to be researched. For achieving this object, it was necessary to research basic issues and problems, which is attached on undergoing processes in generator stator, that is the reason of asymmetry in stator phase winding. Between those problems the first one which was defined is

The electromotive force and the magneto motive force of phase winding branch; Generators common asymmetry and equalizing currents induced in unequal parallel branches of phase winding; Additional loses which are connected to produced asymmetry, and their influence at generators heating; Working of protection relays, estimation of working liability and definition of relay sensitivity decrement necessity.

After research it seems, that in special cases it`s possible to use hydro generators working regimes with artificial asymmetry in stator windings. But it is possible after research of acting factors, which are occurring in generator during abnormal regime. There is offered straight terms of transition and the limits of practical implementing for each hydropower station generators. For each case there must be estimated economical efficiency and expediency of using this regime. In the labour there is shown calculations and arrangements for one of the hydro generator.