

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

ხელნაწერის უფლებით

ფიქრია კენჭოშვილი

ენერგეტიკული დანიშნულების მაღალტემპერატურული (77კ)

ზეგამტარული დენსაზღუდის კვლევა

დოქტორის აკადემიური ხარისხის მოსაპოვებლად წარდგენილი

დისერტაციის

ავტორეფერატი

სადოქტორო პროგრამა: „ენერგეტიკა და ელექტროინჟინერია“

შიფრი: 0405

თბილისი

2018 წელი

სამუშაო შესრულებულია საქართველოს ტექნიკურ უნივერსიტეტში
ენერგეტიკისა და ტელეკომუნიკაციის ფაკულტეტი
ელექტროტექნიკისა და ელექტრონიკის დეპარტამენტი

ხელმძღვანელი: პროფესორი თამაზ კობრეიძე

რეცენზენტები:

დაცვა შედგება 2018 წლის "-----" ----- "-----" საათზე
საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის ენერგეტიკისა და
ტელეკომუნიკაციის ფაკულტეტის სადისერტაციო საბჭოს კოლეგიის
სხდომაზე

კორპუსი VIII , აუდიტორია 304

მისამართი: 0175, თბილისი, კოსტავას 77.

დისერტაციის გაცნობა შეიძლება სტუ-ის ბიბლიოთეკაში,

ხოლო ავტორეფერატისა - ფაკულტეტის ვებგვერდზე

სადისერტაციო საბჭოს მდივანი,
ასოცირებული პროფესორი

გ. გიგინეიშვილი

ნაშრომის ზოგადი დახასიათება

სამუშაოს აქტუალობა. რთული ელექტროენერგეტიკული სისტემების (ეეს) განვითარება თანამედროვე ეტაპზე, მიუხედავად იმისა, რომ გამოიყენება სხვადასხვა ტიპის დენსაზღუდი მოწყობილობები (დსმ), მოკლე შერთვის (მშ) დენების შეზღუდვის პრობლემა დღემდე რჩება გადაუწყვეტელი. ყველა კლასის ძაბვის ელექტრულ ქსელებში მოკლე შერთვის დენების ზრდის პრობლემა აქტუალურია. საჭიროა ახალი ეფექტური მეთოდების და მოწყობილობების დამუშავება მისი შემცირებისათვის.

ამასთან დაკავშირებით ბოლო დროს განვითარებულ ქვეყნებში განიხილება საკითხები ელექტროენერგეტიკის მდგრადი განვითარების უზრუნველყოფისა და ფუნქციონირების ეფექტური ამაღლება ახალი თანამედროვე ტექნოლოგიების ბაზაზე. მაღალტემპერატურული ზეგამტარული (მტზგ) მასალების დამუშავებასთან დაკავშირებით, რომელიც წარმოადგენს ერთ-ერთ პერსპექტიულ მიმართულებას ელექტროენერგეტიკაში, შეიძლება მიეკუთვნოს დამუშავება და დანერგვა სამრეწველო მასშტაბში ზეგამტარული დენსაზღუდი (მგდს) მოწყობილობების. მოკლე შერთვის დენების შეზღუდვის პრობლემა საჭიროა გადაწყდეს განმანაწილებელი მოწყობილობისათვის და თბოელექტროსადგურების საგენერატორო ძაბვის ქსელში, ჰიდროელექტროსადგურების მძლავრი ბლოკების საგენერატორო ძაბვის სალტებზე, 6-10 კვ ძაბვის ქვესადგურის სალტებზე, კონდენსაციური ელექტროსადგურების და ატომური ელექტროსადგურების საკუთარი მოხმარების სისტემებში და ბოლოს მაღალი ძაბვის განმანაწილებელ მოწყობილობებში.

ზეგამტარული დენსაზღუდეები სხვადასხვა კონსტრუქციული შესრულებით თანდათანობით პოულობენ ფართო პრაქტიკულ გამოყენებას მოკლე შერთვის დენების შეზღუდვისათვის. მეორე მხრივ ასეთი

მოწყობილობების გამოყენების ეფექტურობა ელექტროენერგეტიკაში დღემდე სრულად არაა შესწავლილი.

სამუშაოს მიზანი: შეფასდეს შესაძლებლობა მაღალტემპერატურული ზეგამტარული დენსაზღუდების გამოყენებისა ელექტროენერგეტიკულ სისტემაში მოკლე შერთვის დენების შეზღუდვისათვის.

ძირითადი ამოცანები. დასახული მიზნის შესაბამისად ფორმულირებული იქნა შემდეგი ამოცანები:

1. მაღალტემპერატურული ზეგამტარული დენსაზღუდების კონსტრუქციის გაუმჯობესება;

2. მაღალტემპერატურული ზეგამტარული დენსაზღუდების არსებობის დროს ელექტროენერგეტიკულ სისტემაში, ელექტრომაგნიტური გარდამავალი პროცესების მათემატიკური მოდელის დამუშავება.

3. ელექტროენერგეტიკულ სისტემაში ზეგამტარული დენსაზღუდების ზემოქმედების განსაზღვრა ელექტრომექანიკური გარდამავალი პროცესებზე;

4. ზეგამტარული დენსაზღუდების გამოყენების ადგილის და მიზანშეწონილობის არეს გამოვლენა;

5. სხვადასხვა ფაქტორების გათვალისწინებით ზეგამტარული დენსაზღუდების პარამეტრებთან მოთხოვნების ფორმულირება;

კვლევის მეთოდები. სადისერტაციო სამუშაოს შესრულებისას გამოყენებული იქნა ინდუქციურად დაკავშირებული წრედების თეორია და მათემატიკური მოდელირების მეთოდები.

სამეცნიერო სიახლე:

1. შესრულებულია თეორიული ანალიზი და შეფასება პრინციპული შესაძლებლობისა მაღალტემპერატურული ზეგამტარული დენსაზღუდების გამოყენებისა ელექტრომომარაგების სისტემებში. ნაჩვენებია უპირატესობა ასეთი მოწყობილობების, განსაზღვრულია ამოცანების წრე, რომლებიც შეიძლება ეფექტურად გადაწყვეტილი იქნეს ზეგამტარული დენსაზღუდების გამოყენებით ელექტროენერგეტიკულ სისტემაში.

2.დამუშავებულია მათემატიკური მოდელი, რომელიც საშუალებას იძლევა შევისწავლოდ ელექტრომაგნიტური პროცესები მოკლე შერთვის დენების შეზღუდვის დროს ზეგამტარული დენსაზღუდების საშუალებით დროის ნებისმიერ მომენტში მოწყობილობის ინერციულობის გათვალისწინებით.

3. დადგენილია, რომ ზეგამტარული დენსაზღუდების გამოყენება არსებითად აუმჯობესებს ელექტროენერგეტიკული სისტემის სტატიკურ და დინამიკურ მდგრადობას.

შედეგების გამოყენების სფერო. სადისერტაციო სამუშაოში მიღებული შედეგები შეიძლება გამოყენებული იქნეს ელექტროენერგეტიკულ სისტემაში, საპროექტო და სამეცნიერო-კვლევით ორგანიზაციებში ელექტრომომწყობილობების პარამეტრების და მოკლე შერთვის დენების დონეების კოორდინაციის ამოცანების გადაწყვეტის დროს.

მოკლე შერთვის დენების კოორდინაციის პრობლემა წარმოადგენს მეტისმეტად მნიშვნელოვანს ნებისმიერ ელექტროენერგეტიკულ სისტემისთვის, რადგანაც მოკლე შერთვის დონე განსაზღვრავს მოთხოვნებს ელექტრომომწყობილობების შერჩევის დროს, შესაბამისად, განსაზღვრავს ელექტროენერგეტიკულ სისტემის ეკონომიკურობას და საიმედოობას.

აპრობაცია. სადისერტაციო სამუშაოს ძირითადი შედეგები მოხსენებული იქნა: აკაკი წერეთლის სახელმწიფო უნივერსიტეტში IV საერთაშორისო სამეცნიერო კონფერენციაზე - "ენერგეტიკა: რეგიონალური პრობლემები და განვითარების პერსპექტივები" (2016 წ.) და სტუ-ის სტუდენტური კონფერენციაზე (2016 წ.). ასევე, ელექტროტექნიკისა და ელექტრონიკის დეპარტამენტში I, II და III კოლოქვიუმებზე.

სადისერტაციო სამუშაოს შედეგები გამოქვეყნებული იქნა ხუთ სამეცნიერო სტატიაში.

დისერტაციის სტრუქტურა და მოცულობა. დისერტაცია შედგება შესავლისა და 3 თავისაგან, რომლებიც გადმოცემულია 101 გვერდზე შეიცავს 31 ნახაზს, 4 ცხრილს და 23 დასახელების ლიტერატურას.

სამუშაოს ძირითადი შინაარსი

შესავალში დასაბუთებულია პრობლემის აქტუალობა, ჩამოყალიბებული და განსაზღვრულია გამოსაკვლევ საკითხთა წრე, ასევე კვლევის მიზანი და ამოცანები. ფორმულირებულია ნაშრომის მეცნიერულ სიახლეთა და პრაქტიკული მნიშვნელობის ძირითადი ასპექტები.

პირველ თავში წარმოდგენილია ენერგეტიკული დანიშნულების ზეგამტარული დენსაზღუდის მუშა მახასიათებლები. მოცემულია ზეგამტარული დენსაზღუდის კლასიფიკაცია. განხილულია რეზისტორული ტიპის ზეგამტარული დენსაზღუდი, დაფუძნებული ზეგამტარის არაწრფივი ვოლტამპერული მახასიათებელზე, რომლის წინაღობა იცვლება დენის სიდიდის მიხედვით;

ზეგამტარის არაწრფივი ვოლტამპერული მახასიათებელი გამოიყენება აგრეთვე ინდუქციური ტიპის დენსაზღუდში. ის შეიძლება წარმოვიდგინოთ ტრანსფორმატორის სახეში ზეგამტარული არაწრფივი რეზისტორით მეორადი გრაგნილის დატვირთვის რიცხვში, განხილულია დენსაზღუდი გაჟღენთილი მაგნიტოგამტარით, რომელიც შეიცავს ზეგამტარულ შემაგნიტების კოჭას, დენის კოჭას და მაგნიტოგამტარს.

ჩატარებულია ანალიზი ზგდს-ის გამოყენებისა მაღალი ძაბვის ელექტრულ ქსელებში. მათ გააჩნიათ არსებითი სისტემური ეფექტი, დამოკიდებულია დენსაზღუდის დაყენების ადგილზე.

განხილულია ენერგეტიკული დანიშნულების მაღალტემპერატურული ზეგამტარული დენსაზღუდი. მაგალითის სახით განხილულია ტურბოგენერატორის დაცვა.

შესწავლილია ზეგამტარული ელექტრომოწყობილობების მოკლე შერთვის დენების შეზღუდვა ზეგამტარული დენსაზღუდით და ჩატარებულია მისი ანგარიში დროში ინტერვალების მიხედვით. წარმოდგენილია ტრანსფორმატორული ტიპის დენსაზღუდი და მისი შექმნის პერსპექტივა ზეგამტარული გრაგნილებით.

ელექტრულ სისტემაში მოკლე შერთვის (მშ) დენების ზრდის დონეები, უყენებს ამაღლებულ მოთხოვნას, ელექტროდინამიკური და თერმული მედეგობის უზრუნველყოფისათვის ელექტროტექნიკურ მოწყობილობას. განსაკუთრებით აქტუალურია ეს პრობლემა ზეგამტარული (ზგ) ელექტრომოწყობილობებისთვის, როგორცაა: ზგ ტრანსფორმატორები, ზგ გენერატორები, ზგ ელექტროგადამცემი ხაზები და ა.შ. ზგ ელექტრომოწყობილობების შიდა წინაღობა, შედარებით ტრადიციული ელექტრომოწყობილობების შიდა წინაღობასთან, მნიშვნელოვნად დაბალია, რის შედეგად მშ-ის დენებმა შეიძლება მიიღოს დაუშვებლად მაღალი მნიშვნელობა.

მშ-ის დენების შეზღუდვის ეფექტურ საშუალებას წარმოადგენს სწრაფმოქმედი ზგ დენსაზღუდი მოწყობილობა, რომელიც მუშაობს არაწრფივი ვოლტამპერული მახასიათებლის საფუძველზე, როცა ზგ-ის წინაღობა იცვლება დენის სიდიდისგან დამოკიდებულებაში, რაც საშუალებას იძლევა შეზღუდოს როგორც დარტყმის, ისე დამყარებული მშ-ის დენები. სწრაფმოქმედი ზგ დენსაზღუდის (ზგდს) მიიღწევა იმის შედეგად, რომ იცვლება ფაზური მდგომარეობა ზგ-ის გაზრდილი მაგნიტური ველის ზემოქმედებით, წარმოქმნილი უშუალოდ თვით მშ-ის დენით, სადაც გამორიცხულია მართვის ესა თუ ის შუალედური რგოლი. სწრაფმოქმედი ზგდს შეიძლება გამოყენებული იქნეს როგორც ცვლადი, ისე მუდმივი დენის წრედებში.

ზგდს არაწრფივი ელემენტების სახეობის მიხედვით, შეიძლება წარმოვიდგინოთ შემდეგი ტიპები:

1. დროსელური ზგდს. არახაზოვანი ელემენტი დროსელურ ზგდს-ში შესრულებულია ზგ დროსელის სახით მცირე ინდუქციურობით. მოკლე შერთვის რეჟიმში დროსელი კარგავს ზეგამტარობას და გადადის ნორმალურ მდგომარეობაში, ზღუდავს მშ-ის დენს. არახაზოვანი ელემენტის პარალელურად შეერთებულია ზგ დროსელი წრფივი

მახასიათებლით, რომლის დანიშნულებას წარმოადგენს დენურ განტვირთვას და დანაკარგების შემცირებას არახაზოვან ელემენტში.

2. ზგდს ელექტრომაგნიტური ეკრანით. არახაზოვანი ელემენტი აღნიშნულ ზგდს-ში შესრულებულია ელექტრომაგნიტური ეკრანის სახით, განსაზღვრული მოცულობის ეკრანიერებით მაგნიტური ველის შეღწევადობისაგან. ეკრანი იმყოფება ელექტრომაგნიტურ ველში, შექმნილი დამამაგნიტებელი გრაგნილის დატვირთვის დენით დასაცავი ობიექტის, და გადადის ნორმალურ მდგომარეობაში მშ-ის რეჟიმში, დენის გაზრდის დროს. ამ შემთხვევაში საწყისი მოცულობა ეკრანიერებული ნორმალურ რეჟიმში, წყვეტს ეკრანიერებას, მაგნიტური ველი მასში იზრდება, რაც იწვევს, შესაბამისად, ინდუქციურობის და ინდუქციური წინაღობის გაზრდას და შესაბამისად, მშ-ის დენის შეზღუდვას.

3. ტრანსფორმატორული ზგდს. არახაზოვან ელემენტს ტრანსფორმატორული ტიპის ზგდს-ში წარმოადგენს ზგ პირველადი ან მეორადი გრაგნილი. მშ-ის რეჟიმში ტრანსფორმატორის გრაგნილი გადადის ზგ-დან ნორმალურ მდგომარეობაში, რაც იწვევს ტრანსფორმატორის გადასვლას მოკლე შერთვის რეჟიმიდან უქმი სვლის (უს) რეჟიმში ტრანსფორმატორის ინდუქციური წინაღობის გაზრდით მშ-ის წინაღობიდან უს წინაღობამდე, რაც თავის მხრივ იწვევს მშ-ის დენის შეზღუდვას.

ყველა ტიპის ზგდს-ში მიმდინარეობს ელექტრომაგნიტური პროცესები, გამოწვეული წინაღობის გაზრდით ფაზური გადასვლის დროს ზგ არახაზოვანი ელემენტის დაშუნტების დროს, მისი ინდუქციური წინაღობით. ამასთან დაკავშირებით ანგარიში ზგდს-ის შეიძლება განხორციელდეს ნახ.1. მოცემული სქემის მიხედვით, სადაც განხილულია მაგალითის სახით ზგ ტურბოგენერატორის დაცვა (მისი წინაღობა $r_r = 0$). აღნიშნულ სქემაში ზგ ტურბოგენერატორი წარმოდგენილია ზეგარდამავალი ემმ-ით e'' და ზეგარდამავალი ინდუქციურობით L'' ,

U_0 - ძაბვა ზგდს-ზე,

U_H - ძაბვა დატვირთვაზე,

R - ზგ არაწრფივი ელემენტის წინაღობა, რომლის წინაღობა იცვლება 0-დან ზგ მდგომარეობაში R_H -მდე ნორმალურ მდგომარეობაში.

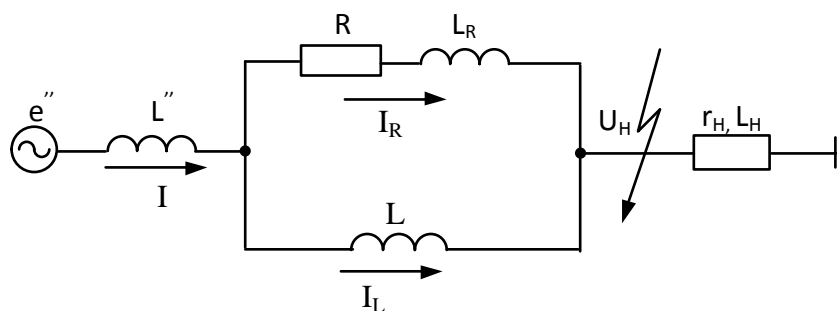
L_R - არაწრფივი ელემენტის ინდუქციურობა,

r_H - დატვირთვის წინაღობა,

L - წრფივი დროსელის ინდუქციურობა,

L_H - დატვირთვის ინდუქციურობა.

i, i_R, i_L -დენები ზგ ტურბოგენერატორის, ზგ არაწრფივი ელემენტის და წრფივი დროსელის.



ნახ.1. ტურბოგენერატორის ჩანაცვლების სქემა ზგდს-ით

ზგ არაწრფივ ელემენტში დენების შეზღუდვასთან დაკავშირებით და მოკლე დროით მათი გადინებით დროსელური და ტრანსფორმატორული ზგდს-თვის, შეიძლება გავაკეთოთ დაშვება ტემპერატურის მუდმივობაზე ნახევარპერიოდის განმავლობაში. ზგდს-ისათვის ელექტრომაგნიტური ეკრანით, აუცილებელია ამოვხსნათ ეკრანის თბური ბალანსის განტოლება მნიშვნელოვანი დანაკარგებისათვის, მასში გრიგალური დენებისაგან და ჰისტერეზისული მოვლენისაგან და ჯოულის დანაკარგებისაგან R_H წინაღობაში, ეკრანის ნორმალურ მდგომარეობაში. ეს განტოლება მაღალტემპერატურული ზგ ეკრანისათვის, თხევადი აზოტით გაცივებით, გააჩნია სახე (საწყისი პირობებით როცა $t = 0, T = T_N$):

$$C \frac{dT}{dt} + hS(T - T_N) = \Delta W,$$

სადაც C, S, T -თბოტევადობა, გასაცივებელი ზედაპირი და ტემპერატურა ზგ არაწრფივი ელემენტის, ΔW - სითბოს გამოყოფის სიმძლავრე ეკრანში ნორმალურ მდგომარეობაში, T_N - თხევადი აზოტის ტემპერატურა, h -თბოგადაცემის კოეფიციენტი ზგ არაწრფივი ელემენტის ზედაპირიდან თხევად აზოტში T_N ტემპერატურით.

ჩავატაროთ ანალიზი ელექტრომაგნიტური პროცესების, დროსელურ ზგდს-ის მაგალითზე. ავღნიშნოთ R_t ზგ არაწრფივი ელემენტის წინაღობის მნიშვნელობა t დროის მომენტში. მაშინ ზგ ტურბოგენერატორის გარდამავალი პროცესების განტოლებას ზგდს-ით გააჩნია შემდეგი სახე:

$$i = i_R + i_L \quad (1)$$

$$e'' = U_o + L'' \frac{di}{dt} \quad (2)$$

$$U_o = R_t i_R + L_R \frac{di_R}{dt} \quad (3)$$

$$\frac{di_L}{dt} = \frac{1}{L} \left(R_t i_R + L_R \frac{di_R}{dt} \right) \quad (4)$$

ჩავსვათ U_o (3) განტოლებიდან და i მნიშვნელობა (1) განტოლებიდან (2) განტოლებაში, მივიღებთ:

$$e'' = R_t i_R + L_R \frac{di_R}{dt} + L'' \frac{di_R}{dt} + L'' \frac{di_L}{dt} \quad (5)$$

ჩავსვათ $\frac{di_L}{dt}$ მნიშვნელობა (4) განტოლებიდან (5) განტოლებაში, გარდაქმნის შემდეგ მივიღებთ:

$$e'' = R_t \left(1 + \frac{L''}{L} \right) i_R + \left(L_R + L'' + \frac{L''}{L} L_R \right) \frac{di_R}{dt} \quad (6)$$

(6) განტოლებიდან განვსაზღვრავთ i_R , (4) განტოლებიდან ვპოულობთ დენს დროსელში:

$$i_L = \frac{1}{L} \int_0^t \left(R_t i_R + L_R \frac{di_R}{dt} \right) dt \quad (7)$$

ტურბოგენერატორის დენს ვპოულობთ (1) განტოლებიდან. (1)-(7) განტოლებებში R_t წინაღობა იცვლება ზგ არაწრფივი ელემენტის ფაზური მდგომარეობისგან დამოკიდებულებაში.

ზგდს-ის ანგარიშის ამოცანა მდგომარეობს, (1)-(7) განტოლების გამოყენებით განისაზღვროს პარამეტრების R_t, L_R, L, L'' ოპტიმალური მნიშვნელობები, რომლის დროსაც:

- 1) ზგდს-ის ჩართვა არ არღვევს ტურბოგენერატორის ნორმალურ რეჟიმს, არ იწვევს ენერჯის დანაკარგებს და ძაბვის ვარდნას;
- 2) უზრუნველყოფილი ხდება მშ-ის დენის საჭირო შეზღუდვა;
- 3) ზგდს-ში მიიღწევა მინიმალური თბოგამოყოფა, სტაბილურობა და საიმედო მუშაობა;
- 4) ზგდს ხასიათდება მინიმალური წონაზომის მაჩვენებლებით და ღირებულობით.

აღნიშნული ამოცანის გადაწყვეტისათვის აუცილებელია (1)-(2) განტოლებების საფუძველზე ანგარიშების ჩატარება. ანგარიში ტარდება ინტერვალების მიხედვით დროში. იმასთან დაკავშირებით, რომ მშ-ის დენის მაქსიმალური მნიშვნელობა იცვლება მშ-ის დაწყების მომენტიდან დამოკიდებულებაში, ვირჩევთ შედარებით არასასურველ ვარიანტს, როცა მშ მიმდინარეობს დროის მომენტში $t = 0, e'' = 0$. ასეთ შემთხვევაში მშ-ის დენს აღნიშნულ ფაზაში გააჩნია მაქსიმალური აპერიოდული მდგენელი, შედარებით მოკლე შერთვასთან სხვა ფაზაში, და დარტყმის დენი აღწევს თავის მაქსიმალურ მნიშვნელობას.

ვთვლით, რომ მშ მიმდინარეობს წრედში ზგდს-ის შემდეგ, დატვირთვის დამოკლების დროს (ნახ.1).

დროის I ინტერვალი: $0 < t < t_1$ (ნახ.2). ზგ არაწრფივი ელემენტი იმყოფება ზგ მდგომარეობაში, $R_t = 0$. i_R დენის განსაზღვრისათვის ვიყენებთ (6) განტოლებას, როცა $R_t = 0$, შედეგად ვღებულობთ:

$$e'' = \left(L_R + L'' + \frac{L''}{L} L_R \right) \frac{di_R}{dt},$$

$$\text{აქედან } i_R = \frac{1}{L_R + L'' + \frac{L''}{L} L_R} \int_0^t e'' dt \quad (8)$$

მივიღებთ $e'' = \sqrt{2} E'' \sin \omega t$, (8) განტოლებიდან მივიღებთ

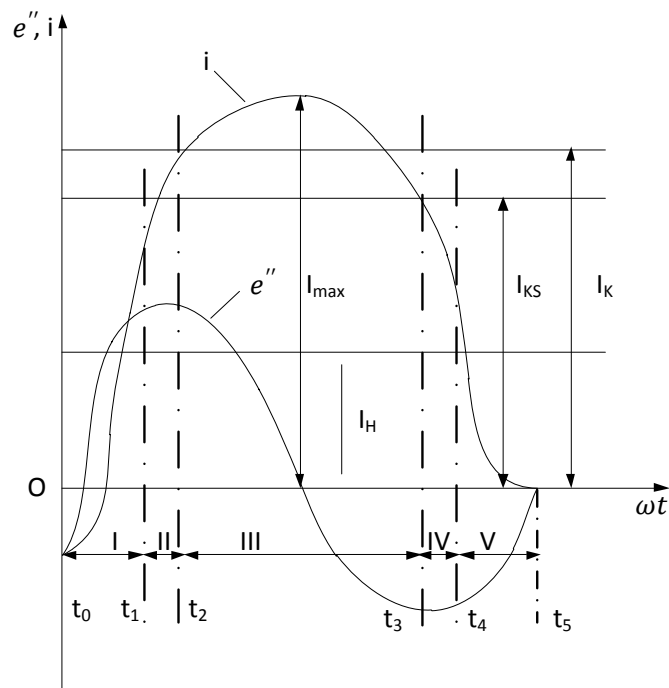
$$i_R = \frac{\sqrt{2} E''}{\omega \left(L_R + L'' + \frac{L''}{L} L_R \right)} (-\cos \omega t) \Big|_0^t = \frac{\sqrt{2} E''}{\omega \left(L_R + L'' + \frac{L''}{L} L_R \right)} (1 - \cos \omega t) \quad (9)$$

როცა $0 < t < t_1$. ზგდს-ის გამორიცხვის დროს i_R დენი, როცა $\omega t = \pi$ აღწევს თავის მაქსიმალურ მნიშვნელობას:

$$I_{km} \cong \frac{\sqrt{2} E''}{\omega L''} = \frac{\sqrt{2} E''}{X''}, \quad (14)$$

რაც დაუშვებელია ტურბოგენერატორისთვის, და ის უნდა შეიზღუდოს პერიოდის პირველ მეოთხედში.

დროის II ინტერვალი: $t_1 < t < t_2$. t_1 დროის მომენტში i_R დენი აღწევს I_{KS} მნიშვნელობას, რომლის დროსაც ზგ არაწრფივი ელემენტი გადადის რეზისტულ მდგომარეობაში. I_{KS} დენი ნაკლებია ზგ არაწრფივი ელემენტის I_K კრიტიკულ დენზე: $I_{KS} < I_K, I_K = k_1 I_H$, სადაც I_H -ტურბოგენერატორის ნომინალური დენი, $k_1 > 1$. k_1 კოეფიციენტი გვიჩვენებს ფარდობით ჯერადობას ტურბოგენერატორის კრიტიკული დენის ნომინალურ დენტან. I_{KS} დენის მნიშვნელობა განისაზღვრება ზგ სადენის ვოლტამპერული მახასიათებლით, რომლისგანაც შესრულებულია ზგ არაწრფივი ელემენტი.



ნახ. 2. ინტერვალების მიხედვით ზგ არაწრფივი ელემენტში დენის ანგარიში რეზისტულ მდგომარეობაში R_t წინაღობა იზრდება თავისი ნულოვანი მდგომარეობიდან, R_H მდგომარეობამდე, ე.ი. ნორმალურ მდგომარეობაში წინაღობის მნიშვნელობა. R_t წინაღობის განსაზღვრისათვის შეიძლება გამოვიყენოთ შემდეგი გამოსახულება

$$R_t = \frac{i_R - I_{KS}}{I_K - I_{KS}} R_H \quad \text{როცა } I_{KS} \leq i_R \leq I_K, \quad (15)$$

რომელიც აღწერს წინალობის ზრდას $R_t = 0$ დან (როცა $i_R = I_{KS}$) $R_t = R_H$ (როცა $i_R = I_K$).

i_R დენის განსაზღვრისათვის რეზისტულ მდგომარეობაში (6) და (14) დან მივიღებთ:

$$\sqrt{2} E'' \sin \omega t = \frac{(i_R - I_{KS})}{I_K - I_{KS}} \left(1 + \frac{L''}{L}\right) i_R + \left(L_R + L'' + \frac{L''}{L} L_R\right) \frac{di_R}{dt}, \quad (16)$$

როცა $t_1 < t < t_2$.

i_R დენი იზრდება I_{KS} სიდიდიდან I_K -მდე. t_2 დროის მომენტი განისაზღვრება (16) განტოლებიდან: როცა $t = t_2, i_R = I_K$. (16) განტოლება წარმოადგენს არაწრფივს.

მეორე ინტერვალის განმავლობაში ენერჯის ჯამური დანაკარგები ზგ არაწრფივ ელემენტში შეადგენს

$$\Delta W_y = \int_{t_1}^{t_2} i_R^2 \left(\frac{i_R - I_{KS}}{I_{KS} - I_K}\right) R_H dt \quad (17)$$

დროის III ინტერვალი: $t_2 < t < t_3$. ზგ არაწრფივი ელემენტი აღნიშნულ დროის ინტერვალში იმყოფება ნორმალურ მდგომარეობაში.

i_R დენის განსაზღვრისათვის ნორმალურ მდგომარეობაში არაწრფივი ზგდს გვექნება:

$$\sqrt{2} E'' \sin \omega t = \left(1 + \frac{L''}{L}\right) R_H i_R + \left(L_R + L'' + \frac{L''}{L} L_R\right) \frac{di_R}{dt}, \quad (18)$$

როცა $t_2 < t < t_3$

აღნიშნული დროის ინტერვალში i_R დენის სიდიდე იზღუდება R_H წინალობით (ნახ.2). დენის მნიშვნელოვანი ნაწილი ამ შემთხვევაში (7) განტოლების თანახმად, წრფივ დროსელში R_H, L_R, L პარამეტრების სიდიდეების შერჩევასთან დამოკიდებულებაში. ზგ ტურბოგენერატორის დენი აგრეთვე შეზღუდულია ((15) განტოლება). დროის აღნიშნულ ინტერვალში არაწრფივ ელემენტში მიმდინარეობს ენერჯის დანაკარგები:

$$\Delta W_H = \int_{t_2}^{t_3} R_H i_R^2 dt$$

$\omega t = \pi$ მომენტში e'' ემპ-ის მნიშვნელობა გადადის ნულზე და შემდეგ ხდება უარყოფითი. ამასთან დაკავშირებით i_R როცა $\omega t = \pi$ აღწევს თავის

მაქსიმალურ მნიშვნელობას, რომელიც მნიშვნელოვნად დაბალია, ვიდრე მაქსიმალური მშ დენი, განსაზღვრული (14).

დენის მაქსიმალური მნიშვნელობა ტოლია $I_{max} = k_2 I_H$, სადაც k_2 - დენის მაქსიმალური მნიშვნელობის ჯერადობა ზგდს არსებობის დროს, როცა $k_2 > k_1$. აღნიშნული ჯერადობა შეიძლება განისაზღვროს ზგდს პარამეტრების შერჩევით.

დროის IV ინტერვალი: $t_3 < t < t_4$. i_R დენის შემცირების დროს დგება t_3 დროის მომენტი, რომლის დროს i_R დენი აღწევს I_k დენის კრიტიკულ მნიშვნელობას და შემდეგ ხდება I_k -ზე ნაკლები.

აღნიშნულ დროის ინტერვალში ზგ არაწრფივი ელემენტი ნორმალური მდგომარეობიდან გადადის რეზისტორულ მდგომარეობაში, მაგრამ დროის II ინტერვალისაგან განსხვავებით R_t წინაღობა i_R დენის შემცირებასთან დაკავშირებით I_k სიდიდიდან I_{KS} -მდე, იქნება შემცირებული R_H სიდიდიდან ნულამდე. i_R დენის განსაზღვრისათვის გვაქვს განტოლება:

$$\sqrt{2} E'' \sin \omega t = \frac{(i_R - I_{KS}) R_H}{I_k - I_{KS}} \left(1 + \frac{L''}{L} \right) i_R + \left(L_R + L'' + \frac{L''}{L} L_R \right) \frac{di_R}{dt} \quad (19)$$

როცა $t_3 < t < t_4$

i_R დენი მცირდება I_k სიდიდიდან I_{KS} მდე.

აღნიშნულ ინტერვალში დანაკარგები ზგდს-ში განისაზღვრება (17) განტოლებით.

დროის V ინტერვალი: $t_4 < t < t_5$. ზგ არაწრფივი ელემენტი თავიდან იმყოფება ზეგამტარულ მდგომარეობაში, და i_R დენი განისაზღვრება განტოლებით, ანალოგიურად იმისა, რომელიც სამართლიანია დროის პირველ ინტერვალში:

$$i_R = \frac{\sqrt{2} E''}{\omega (L_R + L'' + \frac{L''}{L} L_R)} (1 - \cos \omega t) \quad (20)$$

ასე მთავრდება დენების განსაზღვრა გარდამავალ პროცესში დროის პირველ ციკლში (ხანგრძლივობით 0,02 წმ) მშ-ის შემდეგ. აღნიშნული საკმარისია ზგდს-ის პარამეტრების განსაზღვრისათვის, აუცილებელი მშ-ის დენების შეზღუდვისათვის.

შემდეგი ციკლების ანგარიში დაზიანებული უბნის გამორთვის მომენტამდე ამომრთველებით, მიმდინარეობს ანალოგიურად პირველი ციკლის ანგარიშის დროის ინტერვალების მიხედვით, ამ შემთხვევაში მშ-ის დენები თანდათანობით იქნება შემცირებული მშ-ის დენების დამყარებული მნიშვნელობამდე.

მშ-ის დენების ანგარიშის მოცემული მეთოდი დროის ინტერვალების მიხედვით იძლევა შესაძლებლობას სხვადასხვა ტიპის ზგდს-ების შედარების, მათი გამოყენების ოპტიმიზაციის მიზნით, სხვადასხვა ელექტროენერგეტიკული ობიექტების დაცვისათვის.

ნაშრომის მეორე თავში მოცემულია ენერგეტიკული დანიშნულების ტრანსფორმატორული ტიპის დენსაზღუდი ზეგამტარული არაწრფივი რეზისტორით.

ელექტროენერგეტიკული სისტემის (ეეს) საიმედო მუშაობის უზრუნველყოფისათვის მნიშვნელოვან შემადგენელ ფაქტორს წარმოადგენს მოკლე შერთვის (მ.შ) დენების კორექციის საკითხი. მშ-ის დენების შეზღუდვის ტრადიციული მეთოდების გამოყენება თანმხლებია ენერჯის და სიმძლავრის დანაკარგებისა დენსაზღუდი რეაქტორში ელექტრომომარაგების სისტემის ნორმალურ რეჟიმებში, მრავალ შემთხვევაში ვერ უზრუნველყოფს ძაბვის დონეს მკვებავ კვანძში ავარიულ რეჟიმში მომხმარებლის უწყვეტი ტექნოლოგიის მუშაობის პირობის შემთხვევაში. თანამედროვე ტექნოლოგიების გამოყენება, პირველ რიგში მაღალტემპერატურული ზეგამტარული (მტზგ) მასალები და ნანოტექნოლოგიები საშუალებას იძლევა დამუშავდეს რიგი მეთოდები და მოწყობილობები მშ-ის დენების შეზღუდვისა.

ასეთი მოწყობილობების რიცხვში შეიძლება აღინიშნოს ზეგამტარული დენსაზღუდი სხვადასხვა სახის (რეზისტორული, ტრანსფორმატორული), აგრეთვე ელექტროენერჯის ზეგამტარული ინდუქციური მაგროვებელი (ეზგიმ). ეზგიმ-ის გამოყენება საშუალებას იძლევა მთელი რიგი ამოცანების გადაწყვეტისა, დაკავშირებული

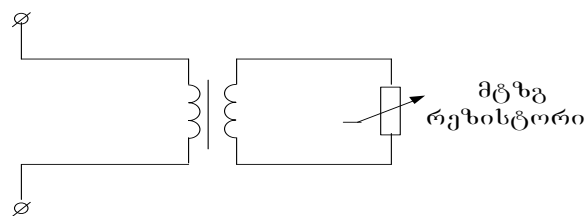
ელექტროენერჯის ხარისხის უზრუნველყოფასთან და ზარალის შემცირებასთან ელექტრომომარაგების შეწყვეტის შემთხვევაში.

ზეგამტარული მასალების უნიკალური თვისება საშუალებას იძლევა შეიქმნას დენსაზღუდები, რომლებსაც ანალოგები არა აქვს ტრადიციული ელექტროტექნიკური მოწყობილობებს შორის.

დენსაზღუდების ჩართვა ენერგოსისტემის გარკვეულ კვანძებში საშუალებას იძლევა გაიზარდოს საკომუტაციო აპარატების მომსახურების ვადები და შეიქმნას პირობა მათი თანდათანობით შეცვლისა თანამედროვე მოწყობილობებით.

სამუშაოში განხილულია ენერგეტიკული დანიშნულების ტრანსფორმატორული ტიპის დენსაზღუდი ზეგამტარული არაწრფივი რეზისტორით. აღწერილია მისი კონსტრუქცია და მუშაობის პრინციპი, მოცემულია ელექტრომაგნიტური პროცესების რიცხობრივი ანგარიშები, მოცემული სამუშაო დაფუძნებულია ზეგამტარის არაწრფივი ვოლტამპერული მახასიათებელზე, რომლის წინააღობა იცვლება დენის სიდიდისაგან დამოკიდებულებაში .

ტრანსფორმატორული ტიპის დენსაზღუდის სქემა ზეგამტარული არაწრფივი რეზისტორით ნაჩვენებია ნახ. 3. არაწრფივი ელემენტი ზგდს-ში შესრულებულია ზეგამტარული რეზისტორის სახით მცირე ინდუქციურობით.



ნახ.3. ტრანსფორმატორული ტიპის მაღალტემპერატურული ზეგამტარული დენსაზღუდი

ქსელის ნორმალურ რეჟიმში ტრანსფორმატორის მეორადი გრაგნილი დამოკლებულია რეზისტორზე ზეგამტარულ მდგომარეობაში, ამ შემთხვევაში დენსაზღუდს გააჩნია წინააღობის მინიმალური

მნიშვნელობა. როდესაც ქსელში მიმდინარეობს მშ, რეზისტორი კარგავს ზეგამტარობას და გადადის რეზისტორულ მდგომარეობაში. ამის შედეგად მშ-ის დენი იზღუდება ტრანსფორმატორის პირველადი გრაგნილის ინდუქციური წინაღობით.

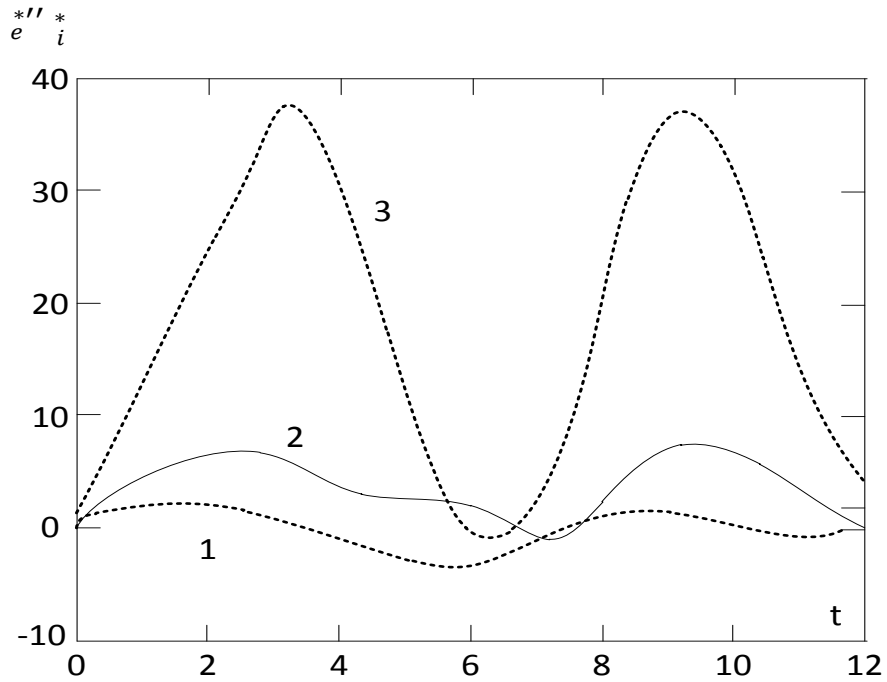
აღნიშნული დენსაზღუდეები ხასიათდებიან კონსტრუქციის სიმარტივით, ნომინალური მუშაობის რეჟიმში არ გააჩნიათ იმპედანსი, აგრეთვე ისინი გავლენას არ ახდენენ ქსელის ძაბვისა და დენის ხარისხზე.

რიცხოვრივი მოდელირების შედეგი მოყვანილი ნახ.4, იძლევა საშუალებას შევადაროთ მშ-ის საანგარიშო დენები წრედში ზგდს არსებობის დროს და მის გარეშე. მშ წრედში მიმდინარეობს $t=0$ დროის მომენტში. ნახ. 4 მოყვანილია ემპ ზეგამტარული გენერატორის (e'') (1 მრუდი), წრედში დენი i^* ზგდს ამოქმედების დროს (2 მრუდი) და იმ შემთხვევაში, როცა ზგდს-ი გამორიცხულია (3 მრუდი). ზგდს გამოყენება მნიშვნელოვნად ამცირებს მშ დენის სიდიდეს.

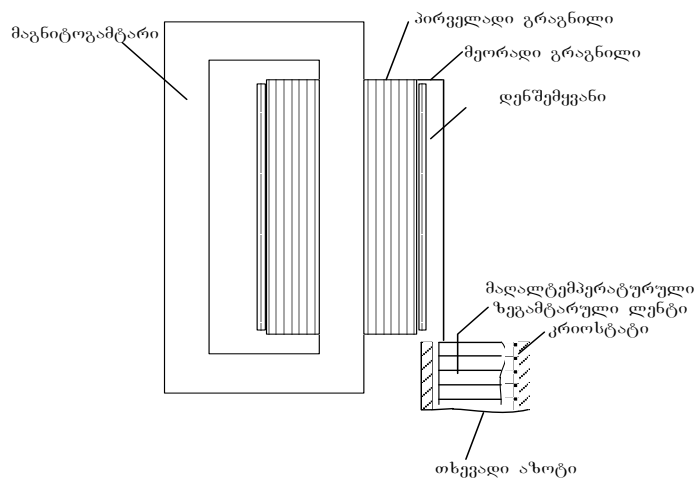
არაწრფივი რეზისტორის დამზადებისათვის შეიძლება გამოყენებული იქნეს კომპოზიციური მაღალტემპერატურული ზეგამტარული სადენი, Bi-2223 ზეგამტარის საფუძველზე ვერცხლის მატრიცაში. მრავალძარღვიანი სადენი (შედგება 61 კერამიკული ზეგამტარული ძარღვისაგან მატრიცაში არალეგირებული ვერცხლისაგან).

კონსტრუქციული შესრულება ტრანსფორმატორული ტიპის მაღალტემპერატურული ზეგამტარული დენსაზღუდის ნაჩვენებია ნახ.5.

დენსაზღუდის ტრანსფორმატორული ნაწილის პირველადი (მუშა) და მეორადი გრაგნილები შესრულებულია სპილენძის სადენისაგან, მაგნიტოგამტარი – ელექტროტექნიკური ფოლადისაგან, კრიოსტატი – ქაფქლასტისაგან.



ნახ.4. ანგარიშის შედეგები (ფარდობით ერთეულებში) გარდამავალი პროცესი მშ-ის დროს წრედში ზგდს-ის არსებობის დროს (2) და როცა ზგდს გამოირიცხებოდა (3)



ნახ. 5. მაღალტემპერატურული ზეგამტარული დენსაზღუდის კონსტრუქციული სქემა

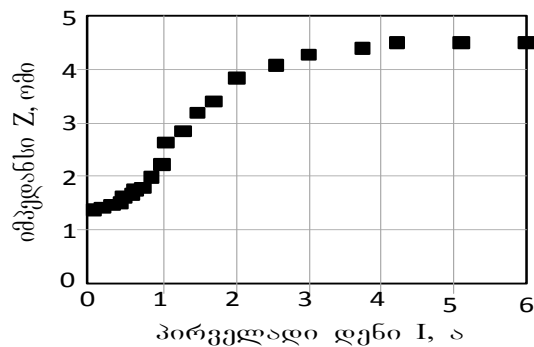
მეორადი გრაგნილის ბოლოსთან შეერთებულია სპილენძის დენშემყვანი. დენშემყვანის და მასთან მიერთებული მაღალტემპერატურული ზეგამტარული სადენების ბოლოები ჩაძირულია თხევად აზოტში.

დამოკიდებულება დენსაზღუდის იმპედანსისა – Z მუშა დენისაგან – I მოცემულია ნახ.6. მოცემულ დამოკიდებულებაზე შეიძლება გამოიყოს სამი არე:

დაბალი მნიშვნელობის არე როცა დენი იცვლება $0 \div 0,3$ ა - $Z \approx 1,2$ ომი;

გარდამავალი არე როცა დენი იცვლება $0,3 \div 4$ ა, 4 რომელშიც იმპედანსი მდოვრედ იზრდება დენის ზრდასთან ერთად $Z \approx 4,5$ ომი მნიშვნელობამდე.

მაღალი მნიშვნელობის არე როცა დენი იცვლება 4 ა და მეტი; უნდა აღინიშნოს, რომ ნახ.6-ზე მოყვანილი ყველა არეში დამოკიდებულება $Z = f(I)$ წარმოადგენს სტაციონარულს.

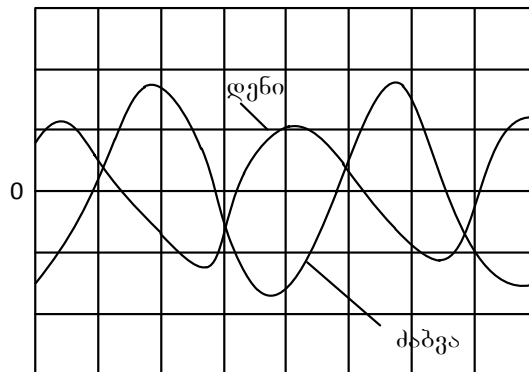


ნახ. 6. დამოკიდებულება მაღალტემპერატურული ზეგამტარული დენსაზღუდის, იმპედანსის – Z დენისაგან – I მუშა (პირველად) გრაფიკში

ნახ. 7. მოყვანილია წრედში დენის და ძაბვის მრუდეები, დენის შეზღუდვის რეჟიმში. ჩანს, რომ ძაბვა წარმოადგენს სინუსოიდალურს, ხოლო დენი მნიშვნელოვნად განსხვავდება სინუსოიდისაგან.

ამავე თავში მოცემულია ინდუქციური ტიპის ზეგამტარული დენსაზღუდის გავლენა ელექტროენერგეტიკული სისტემის მდგრადობაზე ელექტროენერგეტიკული სისტემის საიმედოობის და სიცოცხლის-უნარიანობის, მძლავრი ენერგეტიკული კვანძების ელექტრომომარაგების და ელექტრული ენერჯის ეფექტური განაწილებისათვის, აუცილებელია შეიქმნას საკომუტაციო მოწყობილობა, რომელიც უზრუნველყოფს

დატვირთვის დენების და მოკლე შერთვის (მშ) დენების გამორთვის დადგენილ რიცხვს.



ნახ.7. წრედში დენის და ძაბვის მრუდები დენის შეზღუდვის რეჟიმში.

ელექტრული წრედის განრთვის ქვეშ ჩვეულებრივ იგულისხმება გარდამავალი პროცესი, რომლის დროს წრედის დენი იცვლება, რაღაც გარკვეული მნიშვნელობიდან ნულამდე. ჩვეულებრივ ცდილობენ, რომ განრთვის პროცესი წრედის, დასრულდეს შეძლებისდაგვარად სწრაფად.

პრინციპულად შესაძლებელია მუდმივი და ცვლადი დენის ელექტრული წრედების განრთვის სამი ხერხი: მარტივი რკალური, შეზღუდული - რკალური და რკალის გარეშე. ინდუქციური ტიპის მაღალტემპერატურული ზეგამტარული დენსაზღუდი ხასიათდება მაღალი ეფექტურობით.

რეჟიმის დიდი შემოფოთება, აღძრული ელექტრულ სისტემაში, ხშირად გამოიწვეულია მძლავრი დატვირთვის ან გენერატორების გადამტანი დატვირთვის, ტრანსფორმატორების, ელექტროგადამცემი ხაზების გამორთვებით. კიდევ უფრო მეტი მკვეთრი ცვლილება რეჟიმის, შეიძლება გამოიწვიოს მოკლე შერთვამ, რომლის დროსაც სიმძლავრის ცვლილება სისტემის ცალკეულ უბნებზე თანაზომადია მთელი სისტემის ჯამური სიმძლავრის. მოკლე შერთვის ადგილისა და მათი სახეობის მიხედვით მათ შეუძლიათ გამოიწვიოს გადასაცემი სიმძლავრის სხვადასხვა ცვლილება.

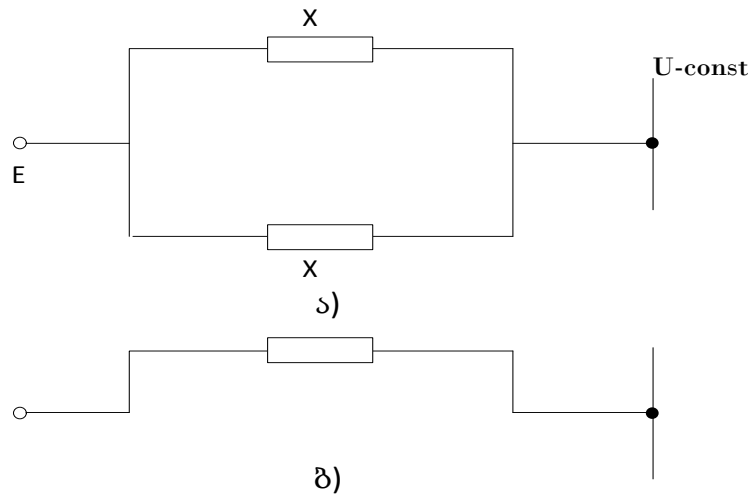
შედარებით მძიმე რეჟიმს წარმოადგენს სამფაზა მოკლე შერთვა, როდესაც სრულად წყდება სიმპლავრის გადაცემა იმ ელემენტის გავლით, რომელზეც მოხდა ავარია. შედარებით მსუბუქ რეჟიმს წარმოადგენს ორფაზა მოკლე შერთვა მიწაზე, კიდევ უფრო მსუბუქ რეჟიმს წარმოადგენს ორფაზა მოკლე შერთვა და ყველაზე მსუბუქ რეჟიმს წარმოადგენს ერთფაზა მოკლე შერთვა (გენერატორებში და ტრანსფორმატორებში გარდამავალი პროცესების გარეშე).

ავარიების სტატისტიკა აჩვენებს, რომ მაღალი ძაბვის ხაზებზე ავარიების უმრავლესობა მოდის ერთფაზა მოკლე შერთვაზე (75-90%). ორფაზა მოკლე შერთვა შეადგენს 5-15% მოკლე შერთვის საერთო რიცხვიდან. შედარებით იშვიათს წარმოადგენს სამფაზა მოკლე შერთვა, რომელიც შეადგენს 5-10%.

ჩვეულებრივ სისტემის მდგრადობაზე შემოწმების მიზნით გამოავლენენ წერტილს, რომელშიც მოკლე შერთვა შედარებით საშიშია, და მისთვის აწარმოებენ ანგარიშებს. თუ მოკლე შერთვა იქნება განხილული საშიში წერტილიდან მოშორებით, მაშინ ისინი უკვე შეიძლება ჩაითვალოს მსუბუქ რეჟიმად. სახელდობრ ამიტომ სისტემის ან გადაცემის მდგრადობის შეფასება ჩატარებული მოკლე შერთვისთვის შედარებით საშიშ წერტილში, იძლევა პრაქტიკულად გარკვეულ ამაღლებულ (საიმედოობის სასარგებლოდ) შედეგებს. უნდა აღინიშნოს აგრეთვე, რომ ავარიის დროს წარმოიქმნება გარკვეული გაუთვალისწინებელი ფაქტორები (როგორცაა, მაგალითად, რკალის გავლენა მოკლე შერთვის ადგილში).

დიდი შემფოთების დროს, დაკავშირებული რეჟიმის უეცარი ცვლილებასთან, გენერატორების ელექტრომომოძრავებელი ძალა (ემძ) არ იქნება უცვლელი. ემძ-ის ცვლილების გათვალისწინება დროში ძლიერ ართულებს ანგარიშებს, და პირველი მიახლოებით ისინი შეიძლება ჩავატაროთ, გენერატორების კვაზიგარდამავალი (კვაზიდინამიკური) სიმპლავრის მახასიათებლების გათვალისწინებით, ე.ი. როცა $E = E'$, სადაც

E' -გარდამავალი ემმ, პროპორციული როტორის დენის მაშინ სისტემისათვის (ნახ.8 ა) შეიძლება ჩავწეროთ:



ნახ. 8. „სადგური-სალტე“ სისტემის გამოსაკვლევ სქემა: ა) საწყისი; ბ) გამორთვის შემდეგ

$$P = E^2 Y_{11} \sin \alpha_{11} + E U Y_{12} \sin(\delta - \alpha_{12}). \quad (21)$$

თუ აქტიური წინაღობა მხედველობაში არ მიიღება, მაშინ

$$P = E U Y_{12} \sin \delta \text{ ან } P = \frac{E U}{X_{12}} \sin \delta \quad (22)$$

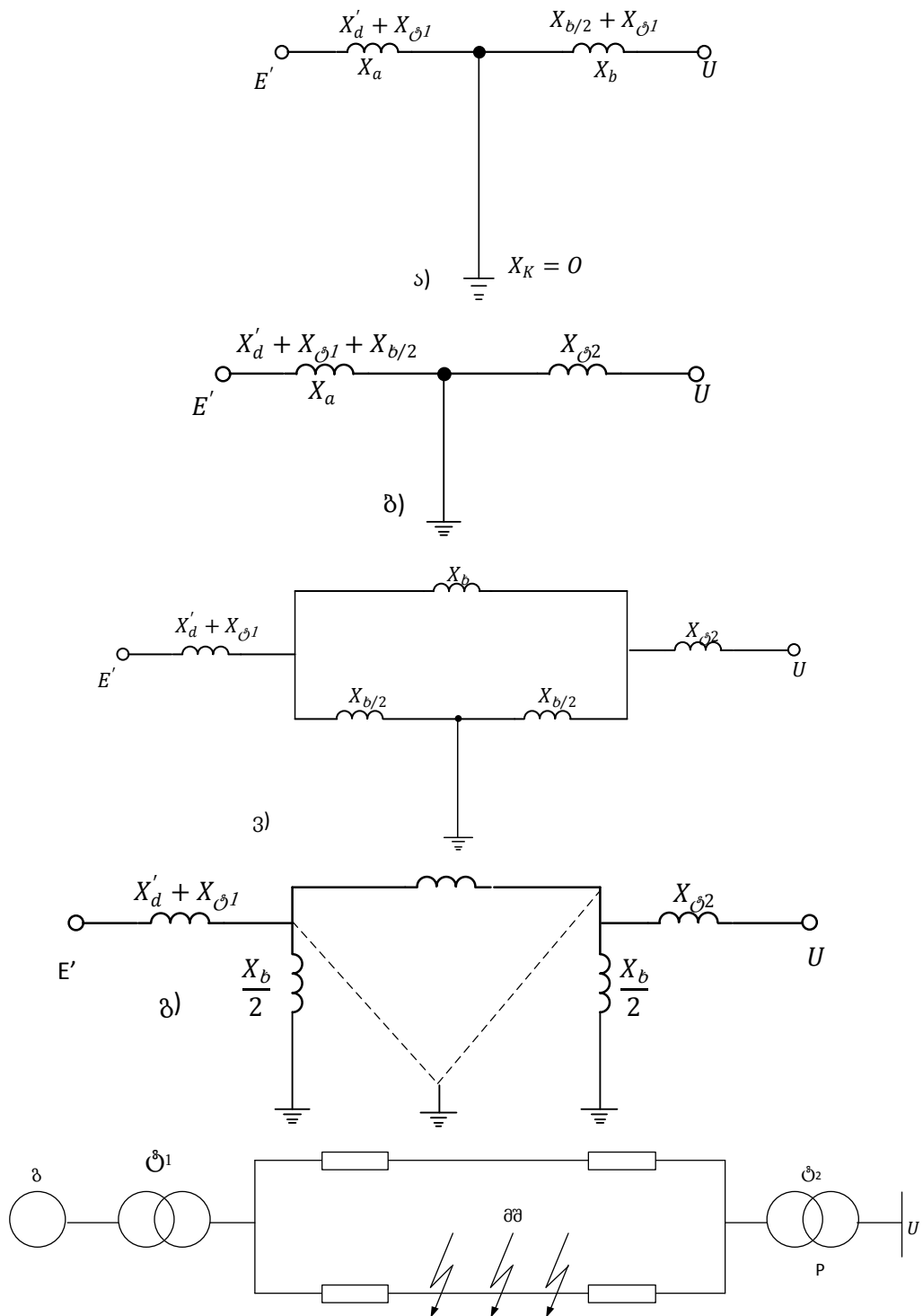
სადაც $Y_{12} = 1/X_{12}$, $X_{12} = X_{\Sigma}$ -ჯამური წინაღობა წრედის ემმ E' -ის მოდების წერტილიდან U ძაბვის სალტემდე (ნახ.8. ბ).

ელექტრომაგნიტური მომენტი, რომელიც მოქმედებს გენერატორის ლილვზე და განმსაზღვრელ მახასიათებელს წარმოადგენს მისი მოძრაობისა, განისაზღვრება როგორც

$$M = P \omega,$$

თუმცა ელექტრომექანიკურ პროცესებში შეიძლება დიდი ცდომილების გარეშე მივიღოთ

$$\omega = \omega_o + \Delta \omega = \omega_o$$



ნახ.9. გადამცემი ხაზზე სამფაზა მოკლე შერთვის დროს ჩანაცვლების სქემა: ა- ხაზის დასაწყისში; ბ- ხაზის ბოლოში; ვ- ხაზის შუაში; გ- ნახ. 9 ვ გარდაქმნილი სქემა

ამის საფუძველს წარმოადგენს ის, რომ სიჩქარე პროცესის დასაწყისში $\Delta\omega$ როტორის დიდი ინერციის შედეგად იცვლება ნელა და შეადგენს არა

უმეტეს 1-2% სინქრონული სიჩქარის მიმართ. სიჩქარის ასეთი მცირე ცვლილების პირობებში მდგრადობის ანგარიშისათვის ჩვეულებრივ მიიღება, რომ ფარდობით ერთეულებში (როცა $\omega_0 = 1$) მომენტის ცვლილება რიცხობრივად ტოლია სიმძლავრის ცვლილების:

$$\Delta M = \Delta P / (\omega_0 + \Delta\omega) = \Delta P / \omega_0$$

იმისათვის, რომ მოკლე შერთვის დროს შევინარჩუნოდ მდგრადი მუშაობა შეძლებისდაგვარად უმრავლეს შემთხვევაში საჭიროა სწრაფად გამოვრთოდ ავარიული უბანი. სისტემისათვის, ნაჩვენები ნახ.9 განვსაზღვროთ არასასურველი ადგილი სამფაზა მოკლე შერთვისათვის დინამიკური მდგრადობის შენარჩუნების შესაძლებლობის თვალსაზრისით.

1. სამფაზა მოკლე შერთვის დროს ხაზის დასაწყისში (ნახ.9, ა) ურთიერთ წინაღობა მოდებული E' ემმ და U ძაბვას შორის:

$$X_{12} = X_a + X_b + X_a X_b / X_k = \infty,$$

სადაც $X_k = 0$

შესაბამისად,

$$P_m^{III} = E' U Y_{12} = 0$$

2. სამფაზა მოკლე შერთვის დროს ხაზის ბოლოში (ნახ.9, ბ):

$$X_{12} = X_a + X_b + X_a X_b / X_k = \infty,$$

$$P_m^{III} = E' U Y_{12} = 0$$

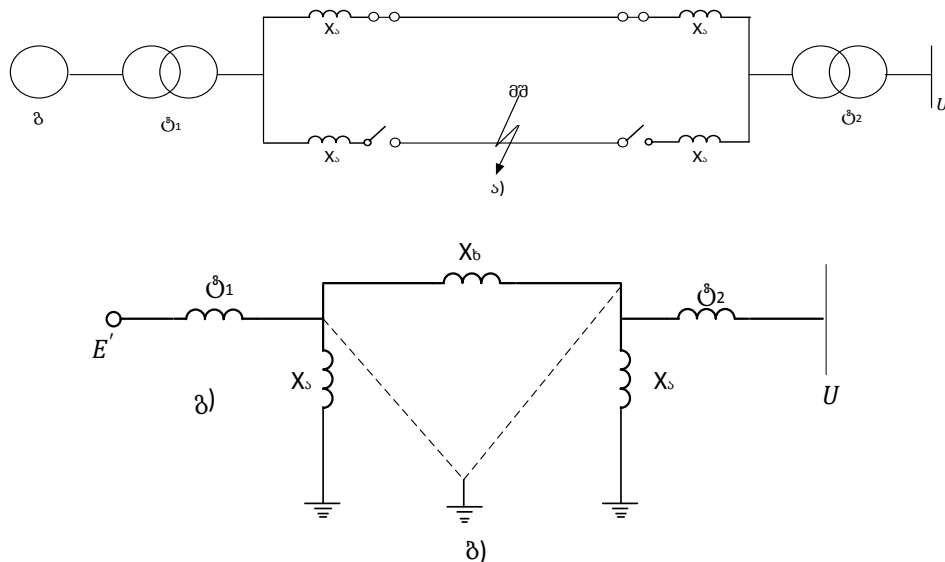
3. სამფაზა მოკლე შერთვის დროს ხაზის შუაში წინაღობა $X_{12} \neq \infty$. ხაზის ცალკეული უბნების წინაღობა (ნახ.9, ვ) სქემის მიხედვით წარმოიქმნა სამკუთხედად. სამკუთხედის გარდაქმნით ვარსკვლავში (ნახ.9, გ, პუნქტური ხაზი), მივიღებთ ჩანაცვლების სქემას, რომლის თანახმად ვპოულობთ წინაღობას და სიმძლავრეს ავარიულ რეჟიმში:

$$P_m^{III} = E' U Y_{12} \neq 0$$

დაუშვათ, რომ თითოეული ამომრთველი სისტემის აღჭურვილია დენსაზღვდი ინდუქციური წინაღობით (ნახ.10).

სისტემისთვის, სადაც თითოეული ამომრთველი ხაზში აღჭურვილია დენსაზღვდი ინდუქციური წინაღობით, მოკლე შერთვის ადგილს არა აქვს მნიშვნელობა დინამიკური მდგრადობის შენარჩუნების შესაძლებლობის

თვალსაზრისით. ამ შემთხვევაში $X_{12} \neq \infty$, ცალკეული უბნების წინაღობა სქემაზე (ნახ.10) წარმოდგენილია სამკუთხედით. სამკუთხედის გარდაქმნით ვარსკვლავში, მივიღებთ ჩანაცვლების სქემას, რომლის თანახმად ვპოულობთ X_{12} წინაღობას და სიმძლავრეს ავარიულ რეჟიმში P^{III} (ანალოგიურად მოკლე შერთვისა ხაზის შუაში).



ნახ.10. გამოსაკვლევი სისტემის (ა) და მისი ჩანაცვლების სქემა მოკლე შერთვის დროს, როცა თითოეული ამომრთველი აღჭურვილია დენსაზღლდი ინდუქციური წინაღობით (ბ)

ნახ.11. ნაჩვენებია სიმძლავრის მახასიათებლები ნორმალური (I), ავარიის შემდგომი (II) და ავარიული III რეჟიმებისათვის, აგრეთვე აჩქარების და დამუხრუჭების ფართები.

დენსაზღლდი ინდუქციური წინაღობის შემოყვანა, აცილებს მოკლე შერთვის ადგილის გავლენას ავარიის სირთულეზე, მოკლე შერთვის დენების მიმართებაში, აგრეთვე სისტემის მდგრადობაზე ზემოქმედებით. ამ შემთხვევაში, რაც მეტია ფარდობა X_s/X_b , მით მსუბუქია ავარია მისი გავლენის მიმართებაში სისტემის მდგრადობაზე.

სადენებზე და აპარატებზე მოკლე შერთვის დენის ჯამური ელექტროდინამიკური და თერმული ზემოქმედების შემცირებისათვის

აუცილებელია შეიზღუდოს როგორც მოკლე შერთვის დენი, დარტყმის დენის ჩათვლით, ისე მისი ხანგრძლივობა ქსელში.

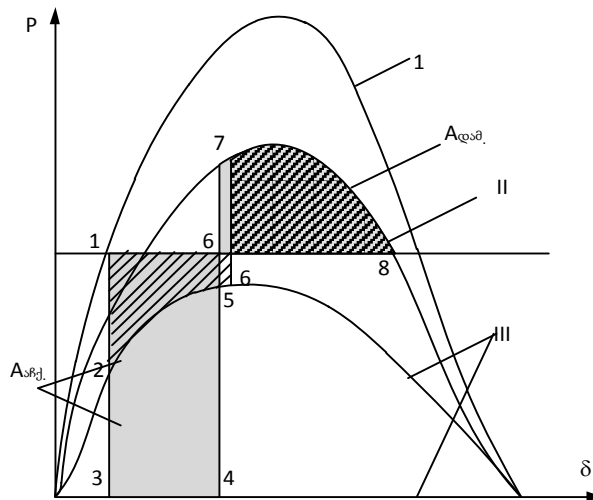
აღნიშნული ამოცანის გადაწყვეტის პრინციპული გზა - მაღალი ძაბვის ამომრთველების სწრაფქმედების ამაღლება, მოკლე შერთვის დენის შეზღუდვა, დაზიანებული წრედის უინერციო გაწყვეტა.

მოკლე შერთვის დენების შეზღუდვის რიცხვში სამამულო და უცხოურ პრაქტიკაში გამოიყენება: სხვადასხვა დენსაზღუდი რეაქტორები; ტრანსფორმატორები და ავტოტრანსფორმატორები დაბალი ძაბვის გრაგნილის გახლეჩით; ზესწრაფმოქმედი, მათ რიცხვში „სინქრონიზირებული“, ამომრთველები საკუთარი 0,5-2 პერიოდი დროის გამორთვით; ტირისტორული ამომრთველები ბუნებრივი და ხელოვნური კომუტაციით; დარტყმის დენის შემზღუდველი მოქმედებით. უინერციო დენსაზღუდი მოწყობილობა რეზონანსური სქემების ბაზაზე არაწრფივი და ზღურბლური ელემენტებით; სხვა დენსაზღუდი მოწყობილობა, რომელიც შედგება კომბინაციისაგან, წრფივი, არაწრფივი და ზღურბლური ელემენტებისაგან, მათ შორის მრავალმიზნობრივი ჩანართი, მუდმივი დენის ზეგამტარული მოწყობილობით.

განსაკუთრებით ინტერეს წარმოადგენს სწრაფმოქმედი მოწყობილობა, რომელსაც გააჩნია უნარი შეზღუდოს მოკლე შერთვის დენი მისი წარმოშობის შემდეგ პირველი ნახევარპერიოდის განმავლობაში, ე.ი. გააჩნიათ უნარი შეზღუდოს როგორც დამყარებული ისე მოკლე შერთვის დარტყმის დენი.

ტრანსფორმატორული ტიპის დენსაზღუდი მოწყობილობის ძირითად ელემენტს წარმოადგენს ტრანსფორმატორი მიმდევრობით ჩართვით, რომლის მეორადი წრედი ჩართულია ამა თუ იმ არაწრფივ წინაღობაზე, მათ შორის რელეური (ზღურბლური) მახასიათებლით.

მიმდევრობითი ჩართვით ტრანსფორმატორის პარამეტრებს ირჩევენ იმგვარად, რომ წრედში ზღვრული მოკლე შერთვის დენის დროს და მეორადი გახსნილი გრაგნილით მისი მაგნიტოგამტარი არ გაჯერდეს.



ნახ.11. სიმძლავრის მახასიათებლები, აჩქარების ფართი როცა მოკლე შერთვა წარმოიშვა ხაზის დასაწყისში (1-3-4-6-1), შემთხვევაში, თუ თითოეული ამომრთველი აღჭურვილია დენსაზღვდი ინდუქციური წინაღობით (1-2-5-6-1) და დამუხრუჭების ფართი (6-7-8-6)

ამავე თავში განხილულია მძლავრდენისა მაღალტემპერატურული ზეგამტარული სადენების დამზადების ტექნოლოგია და ზეგამტარული დენსაზღვდისთვის ზეგამტარული სადენების დენგამტარუნარიანობის და დანაკარგების საანგარიშო თანაფარდობები ცვლად მაგნიტურ ველში.

ნაშრომის მესამე თავში განხილულია მართვადი რექტორის ტიპის მაღალტემპერატურული ზეგამტარული დენსაზღვდი მბრუნავი მაგნიტური ველით. შესწავლილია მართვადი რექტორის ძირითადი თვისებები და კონსტრუქციული გადაწყვეტა. მოწყობლობის განსაკუთრებულობა მდგომარეობს იმაში, რომ მისი ინდუქციური წინააღობა მდოვრედ რეგულირდება მუდმივი დენით შემაგნიტების გზით.

დასკვნები

1. დამუშავებულია ენერგეტიკული დანიშნულების ტრანსფორმატორული ტიპის დენსაზღუდი, ზეგამტარული არაწრფივი რეზისტორით. მოყვანილია ასეთი ტიპის დენსაზღუდის წრედებში ელექტრომაგნიტური პროცესების რიცხოვრივი ანგარიშები.

2. განხილულია ელექტრულ სისტემაში მოკლე შერთვის დენების შეზღუდვის არატრადიციული საშუალება, დაფუძნებული სწრაფმომქმედი ზეგამტარული დენსაზღუდი მოწყობილობის გამოყენებაზე, რომელიც მუშაობს არაწრფივი ვოლტამპერული მახასიათებლის საფუძველზე, როცა ზეგამტარის წინაღობა იცვლება დენის სიდიდისგან დამოკიდებულებაში, რაც საშუალებას იძლევა შეზღუდოს როგორც დარტყმის, ისე დამყარებული მოკლე შერთვის დენები. მაგალითის სახით განხილულია ზეგამტარული ტურბოგენერატორის დაცვა. მიღებულია ელექტრომაგნიტური პროცესების განტოლებები და ჩატარებულია მისი ანალიზი.

3. გაანალიზებულია ინდუქციური ტიპის ზეგამტარული დენსაზღუდის გავლენა ელექტროენერგეტიკული სისტემის მდგრადობაზე. მარეგულირებელ ელემენტად შემოთავაზებულია ზეგამტარი, ხოლო ცვლად ინდუქციურ წინაღობას წარმოადგენს ტრანსფორმატორი. გამოკვლეულია ზეგამტარის და ტრანსფორმატორის პარამეტრების გავლენა დენსაზღუდი მოწყობილობის მუშაობაზე.

4. დამუშავებული მათემატიკური მოდელი ზეგამტარული დენსაზღუდის საშუალებას იძლევა: ზგდს მოწყობილობის წინაღობის ცვლილების ინერციულობის მოდელირებას, ანალიზურად აღიწეროს ელექტრომაგნიტური გარდამავალი პროცესი ზგდს-ის გათვალისწინებით, შევაფასოდ ელექტროდინამიკური და თბური ზემოქმედება მოკლე შერთვის დენის, ზგდს-ის არსებობის დროს.

5. ზგდს ერთჯერადი მოქმედებით აუმჯობესებს ელექტრული სისტემის დინამიკურ მდგრადობას სინქრონული გენერატორის დაბალი

დატვირთვის დროს ავარიამდე რეჟიმში და, პირიქით, აუარესებს მაღალი დატვირთვის დროს; ზგდს მრავალჯერადი მოქმედებით აუმჯობესებს დინამიკურ მდგრადობას რეჟიმის ნებისმიერი პარამეტრის დროს, შედარებით ტრადიციულ რეაქტორთან.

6. ზგდს-ის გამოყენება ელექტრული ქსელის მძლავრი ქვესადგურის კვანძში, მოკლე შერთვის დენების კორდინაციის დროს, საშუალებას იძლევა გაზარდოს საიმედოობა სექციების ერთობლივი მუშაობის შესაძლებლობის ხარჯზე მუშაობის ნორმალურ რეჟიმში, უზრუნველყოს ელექტრული ენერჯის ხარისხი სახელმწიფო სტანდარტის შესაბამისად.

7. ზგდს-ის მოწყობილობის გამოყენება 6-35 კვ ძაბვის ელექტრული ქსელის ნეიტრალში საშუალებას იძლევა მრავალჯერადი მოქმედების რეზისტორული ტიპის ზგდს მოწყობილობისათვის ძაბვის ესკალაციის ალბათობის შემცირებას, როცა ხაზის სიგრძე შეადგენს 71%-დან 100%-მდე მისი კრიტიკული სიგრძის;

8. ზგდს მოწყობილობის გამოყენება 110 კვ ძაბვის ელექტრული ქსელის ნეიტრალში არ იძლევა პრინციპულად ახალ ეფექტს შედარებით ტრადიციულ რეაქტორთან, მაგრამ მოკლე შერთვის დენების შეზღუდვისათვის შეიძლება იყოს მიზანშეწონილი.

დისერტაციის თემაზე გამოქვეყნებული შრომები

1. კოხრიძე თ., კენჭოშვილი ფ. ენერგეტიკული დანიშნულების მაღალტემპერატურული (77 კ) ზეგამტარული დენსაზღუდი. „ინტელექტუალი“, 2016, №31, გვ. 189-193.
2. კოხრიძე თ., კენჭოშვილი ფ. ზეგამტარული ელექტრომოწყობილობების მოკლე შერთვის დენების შეზღუდვა ზეგამტარული დენსაზღუდით და მისი ანგარიში დროში ინტერვალების მიხედვით. IV საერთაშორისო სამეცნიერო კონფერენცია - “ენერგეტიკა: რეგიონული პრობლემები და განვითარების პერსპექტივები”. მოხსენებების კრებული. ქუთაისი, საქართველო, 2016, გვ.93-98.
3. კოხრიძე თ., კენჭოშვილი ფ. ძალოვანი ზეგამტარული დენსაზღუდის მათემატიკური მოდელი. სტუ, სტუდენტური კონფერენცია. თეზისების კრებული. თბილისი, საქართველო, 2016, გვ.4-7.
4. კოხრიძე თ., კენჭოშვილი ფ. ენერგეტიკული დანიშნულების ტრანსფორმატორული ტიპის დენსაზღუდი ზეგამტარული არაწრფივი რეზისტორით. ”ენერჯია”, 2017, №4(84), გვ. 37-41.
5. კოხრიძე თ., კენჭოშვილი ფ. ინდუქციური ტიპის ზეგამტარული დენსაზღუდის გავლენა ელექტროენერგეტიკული სისტემის მდგრადობაზე. ”ენერჯია”, 2018, №1(85), გვ.14-20.

Summary

Protection of electric devices intended for energy purposes from short circuit (SC) currents even today remains the topical problem. Over the last years three conceptions of current limiters (CL) are elaborated: commutative, semiconductive and superconductive. Commutative current limiters are successfully used in medium voltage systems (up to 35 V voltage) at nominal current up to 5000A.

Semiconductive current limiters are still in elaboration process, and some laboratory models are emerged.

Superconductive current limiters (SCCL) are a perfect tool for limitation of short circuit currents. Over several decades there are conducted intensive works on elaboration and implementation of superconductive devices in electric systems, such as generators, transformers, cables as well as current limiters.

The mentioned problem is especially topical for superconductive electric devices, since their internal resistance is relatively low compared with traditional devices, as a result of which SC currents may reach impossibly large magnitudes. Basic requirement for SCCL is that the magnitude of SC stroke current and its steady-state value doesn't have to exceed maximum allowable values. Besides, SCCM doesn't have to negatively impact on parameters of electric energy systems when working in normal operation mode.

Before now the elaboration of superconductive electric devices, including current limiters was based on low-temperature superconductors (LTSC), at the cryogenic temperature 4,2°C, that were featured by expensiveness and large sizes.

Discovery of high-temperature superconductors (HTSC) in 1986 has essentially changed the state of the art and their cooling became possible at liquid-nitrogen temperature 77K that essentially makes design of HTSC current limiters cheaper and reduces their sizes.

In the first chapter of the work there are represented operating characteristics of superconductive current limiters intended for energy purposes. Classification of superconductive current limiters is given. There are considered: resistor-type superconductive current limiters, which are based on non-linear voltage-current characteristic and electric resistance of which is changed according to current magnitude. Non-linear voltage-current characteristic of superconductor is also used in induction-type current limiters. It may be represented in transformer's image in the form of superconductive non-linear resistor in transformer's secondary load.

Current limiter permeated with magnetic conductor includes superconductive magnetizing coil, current coil and magnetic conductor.

There is conducted the analysis of SCCL use in high-voltage electric circuits. They have substantial system defect and are depended on current limiter's installation place.

High-temperature superconductive current limiter intended for energy purposes is considered. Turbogenerator protection is considered as an example.

Limitation of short circuit currents in superconductive electric devices using superconductive current limiter is studied and its calculation is conducted according to intervals.

Transformer-type current limiters and prospects of their creation using superconductive winding are represented.

In the second chapter of the work there are considered the impact of induction-type high-temperature superconductive current limiter on electric energy system stability. There is shown that SCCL substantially increases system stability.

Fault location (short circuit location) makes no matter from the viewpoint of possibility of dynamic stability preservation for such systems, where the each switch in the line is equipped with current limiting inductive resistance.

It is shown that in order to reduce total electrodynamic and thermal action of short circuit currents on wires and electric accessories is necessary to limit both short circuit current (including stroke current) and its duration in the circuit.

The mentioned problem is solved in the work through speeding (enhancement of fast response) of high-voltage switches, via limitation of short circuit currents and instantaneous trip of damaged circuit.

In the same chapter there is considered manufacturing technology of heavy-current high-temperature superconductive wires and current conductivity of superconductive wires intended for superconductive current limiters, and current losses in variable magnetic field.

In the third chapter of the work there are considered controlled reactor-type high-temperature superconductive current limiters with rotating magnetic field. Basic properties and design solution for controlled reactor is studied. The peculiarity of this device is that its inductive resistance can be smoothly controlled by direct current through magnetizing.