

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

ხელნაწერის უფლებით

ვაჟა მეტრეველი

საქართველოს ენერგეტიკული სისტემაში
ელექტროენერჯის მაგროვებლის მუშაობის
სპეციალური რეჟიმები

დოქტორის აკადემიური ხარისხის მოსაპოვებლად
წარდგენილი დისერტაციის

ავტორეფერატი

სადოქტორო პროგრამა „ენერგეტიკა და
ელექტროინჟინერია“ შიფრი 0405

თბილისი

2015 წელი

სამუშაო შესრულებულია საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის
ენერგეტიკისა და ტელეკომუნიკაციის ფაკულტეტის ელექტროტექნიკისა
და ელექტრონიკის დეპარტამენტში

სამეცნიერო ხელმძღვანელი: ტექნ.მეცნ.დოქტორი, პროფესორი
თამაზ კოხრეიძე

რეცენზენტები: ტექნ.მეცნ.დოქტორი, პროფესორი
შოთა ნემსაძე

.პროფესორი მედგარ გელენიძე

დაცვა შედგება 2016 წლის “6“ თებერვალს “14“ საათზე საქართველოს
ტექნიკური უნივერსიტეტის ენერგეტიკისა და ტელეკომუნიკაციის
ფაკულტეტის სადისერტაციო საბჭოს კოლეგიის სხდომაზე, კორპუსი 8,
აუდიტორია 304

მისამართი: 0175, თბილისი, კოსტავას 77.

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

სადისერტაციო საბჭოს მდივანი

ტექნ.მეც. დოქტორი, პროფესორი

გიორგი ხელიძე

სამუშაოს აქტუალობა. მსოფლიოში სხვადასხვა სახის ენერჯის წარმოება და მოხმარება იზრდება სწრაფი ტემპით, განსაზღვრული ადამიანის მოქმედებით ყველა დარგში. ერთდროულად რთულდება ენერჯის გარდაქმნის პროცესები, ფართოვდება ენერგეტიკული დანადგარების და აგრეგატების მრავალსახეობა, რომლებმაც უნდა უზრუნველყონ რაციონალური რეჟიმები სხვადასხვა სახის მომხმარებლების ელექტროკვებისათვის. მრეწველობის, ტრანსპორტის, სოფლის მეურნეობის და საყოფაცხოვრებო დარგების ენერგოუზრუნველყოფის რიცხოვრივი მაჩვენებლების ზრდასთან ერთად დიდ როლს თამაშობს ენერჯის ხარისხის მაჩვენებელი, რაც დაკავშირებულია ენერჯის პარამეტრების რაციონალურ შეთანხმებასთან მისი გარდაქმნის სხვადასხვა სტადიაზე, მნიშვნელოვანი ადგილი აღნიშნული პრობლემის გადაწყვეტაში უკავია ენერჯის მაგროვებლებს, რომლებიც წარმოადგენენ მნიშვნელოვან შუალედურ რგოლს ენერჯის გენერაციის, გადაცემის და მოხმარების სისტემებში.

სამუშაოში დამუშავებულია ელექტროენერჯის ზეგამტარული ინდუქციური მაგროვებელი (ეზიმ) მაღალი ენერგოტევადობით, რომელიც წარმოადგენს ერთ-ერთ ეფექტურ საშუალებას, რომელსაც შეუძლია მნიშვნელოვანი როლი შეიტანოს ქვეყნის ენერგოუსაფრთხოების გადაწყვეტის საკითხებში. ეზიმ-ს გააჩნია უნარი, შეასრულოს შემდეგი ფუნქციები: სტატიკური და დინამიკური მდგრადობის გაუმჯობესება, პიკური დატვირთვების დაფარვა, სისტემის გარკვეულ წერტილებში ძაბვის შენარჩუნება, სისტემაში აქტიური სიმძლავრის ბალანსის დარღვევის დროს სიხშირის აღდგენის უზრუნველყოფა და ელექტროენერჯის შენახვა. ეზიმ-ი ხასიათდება ისეთი თვისებებით, როგორცაა სწრაფქმედება, მაღალი მ.კ.კ. ენერჯის შეყვანისა და გამოყვანის სრული ავტომატიზაციის შესაძლებლობა და გენერატორებში ავარიის შემდგომი რეჟიმებში ელექტრომექანიკური პროცესების დემფირება. ამჟამად ენერგეტიკოსების დიდ ყურადღებას იპყრობს ეზიმ-ი, თავისი შესაძლებლობების მიხედვით, როგორცაა ელექტროენერჯის აკუმულირება და მისი სწრაფი რეალიზაცია. ეზიმ-ის გამოყენებას ენერგეტიკაში გააჩნია დიდი პერსპექტივა, ის შეიძლება

გახდეს ეფექტური საშუალება ელექტროსისტემის ეკონომიურობისა და საიმედოობის ამაღლებისა. ენერჯის დაგროვების პრობლემის აქტუალობა იმდენად სწრაფად იზრდება, რომ მათი მნიშვნელობა თანამედროვე სამეცნიერო-ტექნიკურ ლიტერატურაში ასახულია არა ადეკვატურად.

სამუშაოს მიზანი: დამუშავებული იქნეს ახალი თაობის ელექტროენერჯის ზეგამტარული ინდუქციური მაგროვებელი, მისი მათემატიკური მოდელი და მიღებული იქნეს საანგარიშო თანაფარდობები, რომლებიც მოგვცემს საშუალებას განისაზღვროს მაგროვებლის მთავარი პარამეტრები და მაჩვენებლები, ამავე დროს ავირჩიოთ მუშაობის ეფექტური რეჟიმები. შესწავლილი იქნეს ელექტროენერგეტიკულ სისტემაში ენერჯის ზეგამტარული ინდუქციური მაგროვებლის მუშაობის თავისებურებანი.

ძირითადი ამოცანები: დასახული მიზნის შესაბამისად ფორმულირებული იქნა შემდეგი ამოცანები:

1. გაანალიზებული იქნეს ენერჯის ინდუქციური მაგროვებლის ზოგადი ცნობები და მასში ინდუქციურობების, მაგნიტური ველების და ელექტროდინამიკური ძალების ანგარიშის თავისებურებანი;

2. განხილულ იქნეს შედარებით მეტად გავრცელებული ენერჯის ინდუქციური მაგროვებლების ძირითადი ტიპები, მათი პარამეტრები და მაჩვენებლები;

3. შესწავლილი იქნეს ენერჯის ინდუქციურ მაგროვებელში ენერგეტიკული პროცესები, როგორცაა მისი დამუხტვისა და განმუხტვის რეჟიმები, მისი გამოყენება ტევადურ და ინდუქციურ ელემენტებიანი წრედებში, გრიგალური დენების როლი ინდუქციურ მაგროვებელში.

4. დამუშავებულ იქნეს ელექტროენერჯის ზეგამტარული ინდუქციური მაგროვებლის ჩართვის სქემა ენერგეტიკულ სისტემაში. მიღებულ იქნეს ძირითადი თანაფარდობები მისი პარამეტრების და მაჩვენებლების დასადგენად. განხილულ იქნეს კომუტატორები და კვების წყაროები მაგროვებლის წრედებისათვის.

5. შესწავლილი იქნეს ელექტროენერგეტიკულ სისტემაში ელექტროენერგიის ზეგამტარული ინდუქციური მაგროვებლის მუშაობის თავისებურებანი.

6. განხილულ იქნეს ელექტრული სისტემის დინამიკური მდგრადობის ამაღლებისათვის ელექტროენერგიის ზეგამტარული ინდუქციური მაგროვებლის გამოყენება, პროცესების მათემატიკური უზრუნველყოფა და რიცხობრივი ექსპერიმენტის შედეგების ანალიზი.

7. ჩატარებული იქნეს ელექტროსისტემის შემადგენლობაში ელექტროენერგიის ზეგამტარული ინდუქციური მაგროვებლის მუშაობის სპეციალური რეჟიმები.

კვლევის მეთოდები. სადისერტაციო სამუშაოს შესრულებისას გამოყენებული იქნა თეორიული და ემპირული შემეცნებითი მეთოდები. თეორიულ დონეზე ეს მეთოდია ინდუქციურად დაკავშირებული წრედების თეორია. ემპირულ დონეზე გამოყენებული იქნა მათემატიკური მოდელირების მეთოდები.

სამეცნიერო სიახლე:

1. დამუშავებულია ახალი თაობის ელექტროენერგიის ზეგამტარული ინდუქციური მაგროვებლის ჩართვის სქემა ენერგეტიკულ სისტემაში.

2. დამუშავებულია მათემატიკური მოდელი, რომლის რეალიზაცია საშუალებას იძლევა შევისწავლოთ გარდამავალი პროცესები ელექტროსისტემაში და გამოვაგლინოთ ძირითადი ენერგეტიკული თანაფარდობები ეზგიმ-სა და დატვირთვის შორის.

3. მიღებული რიცხობრივი ექსპერიმენტის შედეგების საფუძველზე მიღებულია რეკომენდაციები პერსპექტივაში მისი გამოყენებისა და საცდელი დანადგარის პროექტირებისა.

პრაქტიკული ღირებულება: სადისერტაციო სამუშაოში მიღებული შედეგები შეიძლება გამოყენებული იქნეს ენერგეტიკული დანიშნულების ელექტროენერგიის ზეგამტარული ინდუქციური მაგროვებლის დამუშავების დროს.

პუბლიკაციები. სადისერტაციო სამუშაოების შედეგები გამოქვეყნებული იქნა ოთხ სამეცნიერო სტატიაში:

სადისერტაციო სამუშაოს ძირითადი შედეგები მოხსენებული იქნა სტუ-ს სტუდენტთა ღია 82-ე (2014 წ) საერთაშორისო სამეცნიერო კონფერენციაზე და აკაკი წერეთლის სახელმწიფო უნივერსიტეტში, III საერთაშორისო სამეცნიერო კონფერენციაზე, ენერგეტიკა: რეგიონული პრობლემები და განვითარების პერსპექტივები (2015 წ).

დისერტაციის სტრუქტურა და მოცულობა. დისერტაცია შედგება შესავლისა და 5 თავისაგან, რომლებიც გადმოცემულია 143 გვერდზე. შეიცავს 46 ნახაზს, 3 ცხრილს და 61 დასახელების ლიტერატურას.

სამუშაოს ძირითადი შინაარსი

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

პირველ თავში მოყვანილია ლიტერატურული წყაროების ანალიზის საფუძველზე ინდუქციური მაგროვებლების და ელექტროდინამიკური ძალვის ანგარიშის თავისებურებანი. ინდუქციურ მაგროვებლებში ენერგია აკუმულირდება მაგნიტური ველის ენერჯიის სახით. მისი განსაკუთრებულობა მდგომარეობს იმაში, რომ ის შეიძლება განხილულ იქნეს, როგორც დენის წყარო, ინდუქციური მაგროვებლის მთავარ პარამეტრებს წარმოადგენს ინდუქციურობა -L. განხილულია მისი ანგარიშის სხვადასხვა მეთოდები. პირველი მეთოდი დაკავშირებულია კოჭას ნაკადშემის გამოთვლასთან მოცემული დენის დროს.

მეორე მეთოდი L -ის გამოთვლისა არ მოითხოვს წინასწარ ანგარიშს მაგნიტური ველის განაწილებისა და დაფუძნებულია ფორმულების გამოყენებაზე უშუალოდ L -ის საპოვნელად.

ტრანსფორმატორული ტიპის ინდუქციური მაგროვებლის გამოკვლევის დროს კოჭას საკუთარი ინდუქციურობასთან ერთად უნდა იქნეს განხილული ურთიერთ ინდუქციურობა - M.

მესამე, შედარებით მარტივი მეთოდი და მოხერხებული საინჟინრო ამოცანებისთვის დამოკიდებულია სადენის ღერძული ხაზის ფორმაზე, ზომებზე; განივი კვეთის გეომეტრიაზე და კვეთის მიხედვით დენის განაწილების ხასიათზე.

ინდუქციურობის ანგარიში, როგორც აღნიშნული იყო შეიძლება განხორციელდეს მაგნიტური ველის ცნობილი განაწილების საფუძველზე. გარდა ამისა მაგნიტური ინდუქციის განაწილებაზეა დამოკიდებული ელექტროდინამიკური ძალვა და მექანიკური ძაბვა ინდუქციურ მაგროვებელში. ამიტომ ინდუქციური მაგროვებლის ანალიზის დროს ამა თუ იმ ღონისძიების დროს იძულებული ვართ შევეხოთ საკითხებს, დაკავშირებული სივრცული მაგნიტური ველების ანგარიშებთან. ასეთი ანგარიშები შეიძლება შესრულდეს უშუალოდ ბიო-სავარის კანონის საფუძველზე ინდუქციური მაგროვებელში დენების ცნობილი განაწილებიდან დროს.

განხილულია ღერძსიმეტრიული კოჭა, რომლისთვისაც მიღებულია ის ყველა თანაფარდობები, რომლებიც დაკავშირებულია ინდუქციური მაგროვებლის ყველა ძირითადი პარამეტრების განსაზღვრისათვის.

მეორე თავში მოყვანილია ინდუქციური მაგროვებლების ძირითადი ტიპების მიმოხილვა, მათი პარამეტრები და მაჩვენებლები. ინდუქციური მაგროვებლები კონსტრუქციული შესრულების მიხედვით არსებობს ორი ძირითადი კლასის: წრფივი მაგროვებლები, რომელშიც კოჭა (ხვიები) განლაგებულია სწორხაზოვანი ღერძის ირგვლივ, და ტოროიდული მაგროვებელი (მ-ტიპის), რომელშიც კოჭა მოიცავს რგოლისებრ ცენტრალურ ხაზს. წრფივი ინდუქციური მაგროვებელი კონსტრუქციულად მარტივია და ტექნოლოგიურია, უზრუნველყოფს აქტიური მასალის კარგ გამოყენებას, მხოლოდ წარმოშობს მნიშვნელოვან მაგნიტურ ველს გარე სივრცეში. ტოროიდული ინდუქციური მაგროვებელი (მ-ტიპის) არ ჩამოუვარდება წრფივ ინდუქციურ მაგროვებელს წონა - გაბარიტული მაჩვენებლებით, გააჩნია გართულებული კონსტრუქცია, მეორე მხრივ საშუალებას იძლევა პრაქტიკულად სრულად აცილებული იქნეს გარე მაგნიტური ველები, რაც ხშირ შემთხვევაში თამაშობს განსაკუთრებულ როლს შესაბამისი ელექტრომოწყობილობების დამუშავების დროს.

ჯერ განხილულია წრფივი ინდუქციური მაგროვებლების პარამეტრები და მახვენებლები, როგორცაა ცილინდრული, რგოლისებური, სოლენოიდური და სფერული ფორმის კოჭებით, შემდეგ ჩატარებულია ანალოგიური ანალიზი ტოროიდული ინდუქციური მაგროვებლისათვის სხვადასხვა გეომეტრიით.

მიღებულია ყველა ტიპის ინდუქციური მაგროვებლებისათვის ინდუქციურობების - L და დაგროვილი ენერგიის საანგარიშო ფორმულები. ბაზისურად მიღებულია ბრუკსას კოჭას ენერგია. ცხრილი 1-ში მოცემულია ინდუქციური მაგროვებლების ენერგიის ფარდობა ბრუკსას კოჭას ენერგიასთან.

ცხრილში მიღებულია შემდეგი აღნიშვნები: $k_{\phi 1}$ -ინდუქციური მაგროვებლის ფორმის კოეფიციენტი; $k_{\phi 2}$ -ცილინდრული ფორმის კოჭას შევსების კოეფიციენტი; $k_{\phi 3}$ - ბრუკსას კოჭას შევსების კოეფიციენტი; $k_{\phi 4}$ -სოლენოიდური ფორმის კოჭას შევსების კოეფიციენტი;

$k_{\phi 5}$ - სფერული ფორმის კოჭას შევსების კოეფიციენტი;

k_{θ} - ტოროიდული θ ტიპის კოჭას შევსების კოეფიციენტი;

k_{ϕ} - ტოროიდული ϕ ტიპის კოჭას შევსების კოეფიციენტი;

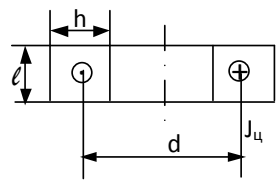
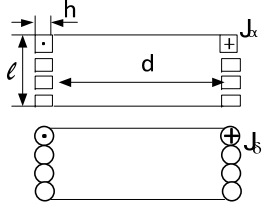
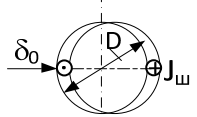
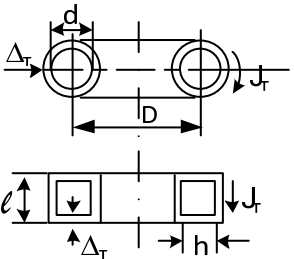
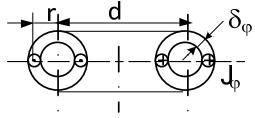
J - შესაბამისად კოჭას დენი;

h - კოჭას სიმაღლე; l -კოჭას სიგრძე; d -კოჭას დიამეტრი; r -კოჭას რადიუსი.

δ - სფერული კოჭას დენური ფენების სისქე; W_{ϕ} -ბრუკსას კოჭას ბაზისური ენერგია; D -ტორის დიდი დიამეტრი; d -კვეთის დიამეტრი; ΔT -ტოროიდული კოჭას დახვევის სისქე; μ_0 -მაგნიტური მუდმივა.

ზემოდ განხილული ტოროიდული კოჭები წრიული ან მართკუთხა კვეთებით არ წარმოადგენს ოპტიმალურს აქტიური მასალების გამოყენების მიზნით, თუ გავითვალისწინებთ ინდუქციური მაგროვებლის სიმტკიცის მახასიათებლებს. ასეთ კოჭაში მერიდიანული კვეთით მოქმედებს არა მხოლოდ არსებითად არაერთგვაროვანი ძალები გაჭიმვის, არამედ მოღუნვის ძალვა, რომლის კომპენსაცია კონსტრუქციული ელემენტებით ხშირად დაკავშირებულია სიძნელეებთან. მასალების გამოყენების მიხედვით საუკეთესოს წარმოადგენს ტოროიდული კოჭა ისეთი კვეთის ფორმით, რომლის

სადენის ერთნაირი მოცულობის დროს იმ-ის ძირითადი ტიპების ფარდობითი ენერგია.

იმ-ის ტიპი	გეომეტრია	იმ-ის ენერჯიის ფარდობა ბრუკსას კოჭას ენერჯიასთან	ზომა
ცილინდრული		$\frac{k_{\phi 1}}{4,08} \left(\frac{k_{3,u}}{k_{3B}}\right)^{1/3} \left(\frac{J_u}{J_B}\right)^2 (h_* \ell_*)^{1/3}$	$h_* = h/d$ $\ell_* = \ell/d$
სოლენოიდური: ა) სადენის მართკუთხა კვეთით ბ) სადენის წრიული კვეთით		$2,12 \left(\frac{k_{3,\alpha}}{k_{3B}}\right)^{1/3} \left(\frac{J_\alpha}{J_B}\right)^2 h_*^{1/3}$ $(\ell_* = \ell_{*opt} = 0,406)$ $1,445 \left(\frac{k_{3\sigma}}{k_{3\delta}}\right)^{1/3} \left(\frac{J_\delta}{J_\sigma}\right)^2 W^{-1/3}$	$h_* = h/d$ $\ell_* = \ell/d$
სფერული		$1,61 \delta_{0*}^{1/3} \left(\frac{J_u}{J_B}\right)^2 \left(\frac{k_{3,u}}{k_{3B}}\right)^{1/3}$	$\delta_{0*} = \delta_0/D$
ტოროიდული θ -ტიპის: ა) სადენის წრიული კვეთით ბ) სადენის მართკუთხა კვეთით		$2,255 \left(\frac{k_{3,T}}{k_{3B}}\right)^{1/3} \left(\frac{J_T}{J_B}\right)^2 (1 - \sqrt{1 - d_*^2}) \Delta_{T*}^{1/3} / d_*^{4/3}$ $1,524 \left(\frac{k_{3,T}}{k_{3B}}\right)^{1/3} \left(\frac{J_T}{J_B}\right)^2 \frac{\ell_* (\Delta_{T*} h_*)^{1/3}}{(\ell_* + h_*)^{5/3}} \ell_n \frac{1 + h_*}{1 - h_*}$	$\Delta_{T*} = \Delta_T/d$ $d_* = d/D$ $\ell_* = \ell/D$ $\Delta_{T*} = \Delta_T/n$ $h_* = h/D$
ტოროიდული φ -ტიპის		$2,84 \left[(1 + r_*^2) \ell_n \frac{4}{r_*} - 2 \right] \left(\frac{J_\varphi}{J_B}\right)^2 \left(\frac{k_{3\varphi}}{k_{3B}}\right)^{1/3} r_*^{2/3} \delta_{\varphi*}^{1/3}$	$r_* = r/d$ $\delta_{\varphi*} = \delta_\varphi/r$
შენიშვნა. ბრუკსას კოჭას ბაზისური ენერგია		$W_B = \frac{0,0131}{\pi} \mu_0 (k_{3B} J_B)^2 d^5 = \frac{0,51}{\pi^{8/3}} \mu_0 k_{3B}^{1/3} J_B^2 Q^{5/3}$	

დროსაც გამჭიმავი ძალვა მუდმივია, ხოლო ღუნვის ძალვა გამორიცხულია.

უმრავლეს შემთხვევაში ტოროიდული ინდუქციური მაგროვებელი სრულდება არა უწყვეტი კოჭას სახით, არამედ შემადგენელი N დისკრეტული ცილინდრული კოჭათი, შემომწვდომი წრიული ღერძის d დიამეტრით.

მესამე თავში განხილულია ინდუქციურ მაგროვებელში ენერგეტიკული პროცესები. ინდუქციური მაგროვებლის მუშაობა, როგორც ელექტროენერჯის გარდამქმნელი, დაფუძნებულია დამუხტვისა და განმუხტვის პროცესებზე, წრედების კომუტაციაზე, ენერჯის გადაცემაზე ინდუქციურად დაკავშირებული კოჭებს შორის, ინდუქციური და ტევადური ელემენტებით და ა.შ. ერთ-ერთი მთავარი ამოცანას ინდუქციური მაგროვებლის დამუშავების დროს წარმოადგენს უზრუნველყოფა ეფექტური გამოყენებისა პირველადი წყაროს ენერჯის და მ.კ.კ-ს ამაღლება.

შესწავლილია ინდუქციურ მაგროვებელში დამუხტვისა და განმუხტვის პროცესები: ნაჩვენებია, რომ დამუხტვის მ.კ.კ მით მაღალია, რაც დაბალია დამუხტვის ფარდობითი ხანგრძლივობა. განხილულია ტრანსფორმატორული ინდუქციური მაგროვებელი, რომელშიც გვაქვს ორი გრაგნილი: პირველად დიდი ინდუქციურობით, გამოიყენება ინდუქციური მაგროვებლის დამუხტვის დროსა და მეორადი მცირე ინდუქციურობით, გამოიყენება განმუხტვის დროს.

შედგენილია გარდამავალი პროცესების ამსახველი განტოლება და მიღებულია ღუნების მნიშვნელობები მუშაობის სხვადასხვა რეჟიმებში. მიღებულია მ.კ.კ-ის საანგარიშო გამოსახულება, რომლიდანაც ჩანს, რომ ინდუქციური მაგროვებლის ეფექტური მუშაობისათვის აუცილებელია კავშირის კოეფიციენტის $K_c = M/\sqrt{L_1 L_2}$ ამაღლება. M -ურთიერთინდუქციურობის კოეფიციენტი, $L_1 L_2$ -ტრანსფორმატორის პირველადი და მეორადი გრაგნილების შესაბამისად ინდუქციურობებია. M -ის მნიშვნელობა განისაზღვრება გრაგნილების საერთო ნაკადებით, ხოლო L_1 და L_2 - მათი სრული ნაკადებით, მაშინ K_c მნიშვნელობა იქნება მით ახლოს ერთთან, რაც მცირეა განბნევის ნაკადები, შებმული

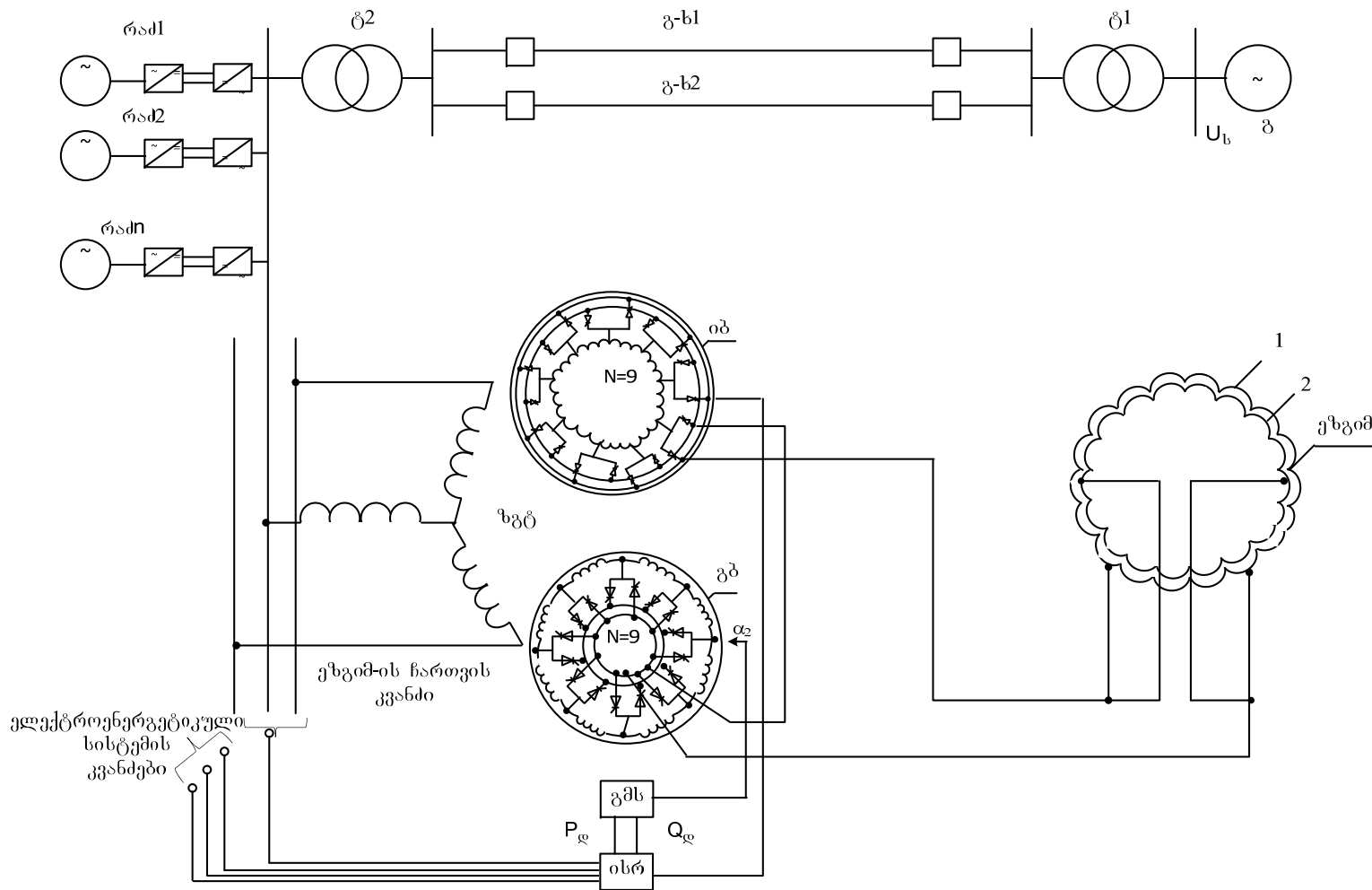
მხოლოდ პირველადი და მეორადი გრაგნილებთან. მოცემულია K_c -ის ცვლილებების მახასიათებლები ინდუქციური მაგროვებლის პარამეტრებისაგან, მიღებულია K_c -ის ოპტიმალური მნიშვნელობა.

განხილულია გრიგალური დენების როლი ინდუქციურ მაგროვებელში. ენერგეტიკული პროცესების სწორი ორგანიზებისათვის აუცილებელია გავითვალისწინოთ გრიგალური დენები, აღძრული სწრაფად ცვალებად მაგნიტური ველით. დადგენილია, რომ ველი გამოწვეული გრიგალური დენებით მნიშვნელოვნად ამახინჯებს სრულ ველს და ინდუქციურ მაგროვებელში პროცესების ანალიზი არსებითად რთულდება. ინდუქციური მაგროვებლის მახასიათებლები უმჯობესდება, როცა გამოყენებულია არაგამტარი გარსი, დამზადებული მინაბოჭკოვანი მასალისაგან.

მეოთხე თავში განხილულია ელექტროენერჯის ზეგამტარული ინდუქციური მაგროვებელი (ეზგიმ), რომელიც საშუალებას იძლევა მივიღოთ აქტიურ ზონაში დენის სიმკვრივის ზღვრული მნიშვნელობა და ამიტომ ხასიათდება საუკეთესო წონა-გაბარიტული მაჩვენებლებით. ეზგიმ-ი შეიძლება გამოყენებული იქნეს, როგორც ავტონომიურ დანადგარებში, ისე მძლავრ ელექტროსისტემებში, ვინაიდან მათ გააჩნიათ უნარი შეინარჩუნონ ენერჯია დიდი დროით. ეზგიმ-ის კოჭების შევსების კოეფიციენტი განისაზღვრება, როგორც $K_3 = K_{\text{en}}K_{\text{II}}$, სადაც K_{en} - შევსების კოეფიციენტი ერთი გადამტანი სადენის ზეგამტარული ძარღვებით, K_{II} - შევსების კოეფიციენტი ეზგიმ-ის კოჭას გადამტანი სადენებით; გაცივების არხების, სიმტკიცის არტახების, იზოლაციის და ა.შ. გათვალისწინებით. K_{II} კოეფიციენტს გააჩნია ისეთი მნიშვნელობა, რაც K_3 ჩვეულებრივ კოჭას ($K_{\text{II}} \approx 0,3 \div 0,6$). K_{en} მნიშვნელობა დამოკიდებულია ზეგამტარის სტაბილიზაციის მეთოდზე. კრიოსტატული სტაბილიზაციის დროს $K_{\text{en}} \leq 0,1$, შიდა სტაბილიზაციის დროს $K_{\text{en}} \leq 0,5$. ამგვარად ზეგამტარული კოჭასათვის შევსების კოეფიციენტი $K_3 \approx 0,05 \div 0,3$. ზეგამტარში დენის სიმკვრივე $J_{\text{en}} \approx (1 \div 3)10^9$ ა/მ². ასეთი მაღალი J დენის სიმკვრივის შედეგად ეზგიმ წარმოადგენს დიდი ენერგომოცულობის მოწყობილობას შედარებით სხვა ტიპის ინდუქციურ მაგროვებელთან. გარდა ამისა, ზეგამტარულ კაბელში გამორიცხებულია

ომიური დანაკარგები (დამყარებული პროცესების დროს) და მ.კ.კ ეზიმს აღწევს მაღალ მნიშვნელობას. მიღებულია ძირითადი თანაფარდობები ელექტროენერგიის ზეგამტარული ინდუქციური მაგროვებელში. განხილულია კომუტატორები ინდუქციური მაგროვებლის წრედებისათვის და კვების წყაროები.

მესუთე თავში განხილულია ელექტროენერგეტიკულ სისტემაში ელექტროენერგიის ზეგამტარული ინდუქციური მაგროვებლის მუშაობის თავისებურებანი. დამუშავებულია ახალი თაობის ელექტროენერგიის ზეგამტარული ინდუქციური მაგროვებლის გამოყენების პერსპექტივა საქართველოს ელექტროენერგეტიკულ სისტემაში. ელექტროენერგიის ზეგამტარული ინდუქციური მაგროვებელი მაღალი ენერგოტევადობით $10^8 - 10^{13}$ ჯოული წარმოადგენს ერთ-ერთ ეფექტურ საშუალებას, რომელსაც შეუძლია მნიშვნელოვანი როლი შეიტანოს ქვეყნის ენერგოუსაფრთხოების გადაწყვეტის საკითხებში. ეზიმ-ს გააჩნია უნარი შეასრულოს შემდეგი ფუნქციები: სტატიკური და დინამიკური მდგრადობის გაუმჯობესება, პიკური დატვირთვების დაფარვა, სისტემის გარკვეულ წერტილებში დაბვის შენარჩუნება, სისტემაში აქტიური სიმძლავრის ბალანსის დარღვევის დროს სისშირის აღდგენის უზრუნველყოფა და ელექტროენერგიის შენახვა. ეზიმ-ი ხასიათდება ისეთი თვისებებით, როგორცაა სწრაფქმედება, მაღალი მ.კ.კ., ენერგიის შეყვანისა და გამომყვანის სრული ავტომატიზაციის შესაძლებლობა და გენერატორებში ავარიის - შემდგომი რეჟიმებში ელექტრომექანიკური პროცესების დემფირება. ეზიმ-ის კავშირი ენერგეტიკულ სისტემასთან ხორციელდება გარდამქმნელის საშუალებით. ეზიმ-ი და გარდამქმნელი წარმოადგენს ერთიან ელექტროტექნიკურ კომპლექსს განზოგადოებული მახასიათებლებით. ეზიმ-ის გარდამქმნელად მიზანშეწონილია გამოყენებული იქნეს ელექტრომანქანური ტიპის ზეგამტარული ტრანსფორმატორი (ზგტ) მართვადი ნახევრადგამტარული კომუტატორით (მნკ) მბრუნავი მაგნიტური ველით. ეზიმის ჩართვის სქემა ენერგეტიკულ სისტემაში ნაჩვენებია ნახ. 1. ენერგოსისტემა ენერგიას ღებულობს ელექტროსადგურებიდან. რეგულირებადი ასინქრონული დატვირთვის კვანძი (რად1 -რადn) კვებას ღებულობს ორჯაჭვიანი გადამცემი ხაზით. ეზიმ-ი ჩართულია ქვესადგურის



გაღაშოდებუბიდან:
სიხშირე, ძაბვა, დენი

ნახ.1. ელექტროენერგიის ზეგამტარული ინდუქციური მაგროვებლის ჩართვის სქემა ენერგეტიკულ სისტემაში. გ-ეკვივალენტური სინქრონული გენერატორი; ტ1, ტ2-ძალოვანი ტრანსფორმატორები; გ-ს1, გ-ს2-გადამცემი ხაზები; რაძ-რეგულირებადი ასინქრონული ძრავები; ზგტ-ზეგამტარული ტრანსფორმატორი; იბ-ინვერტორის ბლოკი; გბ-გამმართველის ბლოკი; გმს-გამმართველის მართვის სისტემა; ისრ-ინვერტორის სასისტემო რეგულატორი; α_1, α_2 -გამმართველის და ინვერტორის ბლოკების მართვის კუთხეები. 1,2 -ეზგიმის ტრანსპონირებული ერთფენიანი გრაგნილები.

საღტესთან სამგრანილა ზგტ-ით და შექცევადი ტირისტორული გარდამქმნელებით, რომელიც ასრულებს ცვლადი დენის ქსელთან ეზიმის კავშირსა და მართვის ფუნქციას.

პირველადი სამფაზა გრაგნილი შეერთებულია ვარსკვლავად და ჩართულია სამფაზა დენის ქსელთან. ორი მეორადი გრაგნილი შეკრულია და შედგება N მიმდევრობით შეერთებული სექციებისაგან მნკ-ით ($N = 9$) ტრანსფორმატორის ზეგამტარული გარგნილები მბრუნავი მაგნიტური ველის აგზნებით კონსტრუქციულად შესრულებულია ელექტრული მანქანების შეკრული გრაგნილების ანალოგიურად, განლაგებული კილოებში და შედგება მიმდევრობით შეერთებული სექციებისაგან. თითოეული სექცია ასეთი გრაგნილის შეერთებული შესაბამისად მნკ-ს ნახევრადგამტარული გადამრთველთან. ამ შემთხვევაში ზგტ მნკ-ით შეიძლება განვიხილოთ, როგორც კერძო შემთხვევა ელექტრული მანქანებისა მნკ-ით, დამუხრუჭებული როტორით. თეორია ზგტ-ისა მბრუნავი მაგნიტური ველის აგზნებით და მნკ-ით შეიძლება მიღებული იქნეს მართვადი ნახევრადგამტარიანი კომუტატორიანი ელექტრული მანქანების თეორიის საფუძველზე.

$$\bar{U}_1 = r_1 \bar{I}_1 + \frac{d\bar{\psi}_1}{dt} + j\omega_1 \bar{\psi}_1 \quad (1)$$

$$\bar{U}_2 = r_2 \bar{I}_2 + \frac{d\bar{\psi}_2}{dt} + j\omega_1 \bar{\psi}_2 \quad (2)$$

$$U_2^* = r_2 \bar{I}_2^* + \frac{d\bar{\psi}_2^*}{dt} + j\omega_1 \bar{\psi}_2^* \quad (3)$$

$$\bar{\psi}_1 = \left(L_{1s} + \frac{3}{2}M\right) \bar{I}_1 + \frac{3}{2}M \bar{I}_2 \quad (4)$$

$$\bar{\psi}_2 = (L_{2s} + M) \bar{I}_2 + \frac{1}{2}M(\bar{I}_1 + e^{j2\alpha_2} \bar{I}_1^*) \quad (5)$$

$$\bar{\psi}_2^1 = \frac{1}{2}M(\bar{I}_1 - e^{j2\alpha_2} \bar{I}_1^*) \quad (6)$$

$$\bar{I}_1 = e^{-j\omega_1 t} \sum_{k=1}^3 i_k e^{j\alpha_k} \quad (7)$$

$$\alpha_k = \alpha_0 + (K - 1) \frac{2\pi}{3} \quad (8)$$

$$\bar{I}_2 = i_2 e^{j\alpha_2} \quad (9)$$

$$\bar{I}_2^* = i_2 e^{-j\alpha_2} \quad (10)$$

სადაც ω_1 -პირველადი გრაგნილის კუთხური სიხშირე. $\bar{I}_1, \bar{U}, \bar{\psi}_1, \bar{I}_2, \bar{U}_2, \bar{\psi}_2$ -ზგტ-ს პირველადი და მეორადი გრაგნილის მხარეს დენების, ძაბვების და ნაკადშემბების განზოგადოებული ვექტორი, ჩაწერილი კოორდინატთა სისტემაში ω_1 კუთხური სიხშირის ბრუნვისას. α_k -პირველადი და მეორადი გრაგნილების ფაზების მაგნიტური დერძების კუთხეები გრძივი დერძის მიმართ. i_k, u_k -პირველადი და მეორადი გრაგნილების ეკვივალენტური ფაზების დენებისა და ძაბვების მყისი მნიშვნელობები.

r_1, r_2 -პირველადი და მეორადი გრაგნილების ფაზების აქტიური წინაღობები.

L_{1S}, L_{2S} -პირველადი და მეორადი გრაგნილების ფაზების განხვევის ინდუქციურობები.

M -პირველადი და მეორადი გრაგნილების მაქსიმალური ურთიერთინდუქციურობები ორ ფაზებს შორის.

შექცევადი ტირისტორული გარდამქმნელი შედგება გამმართველის და ინვერტორის ბლოკებისაგან (გბ, იბ), შეერთებული ზგტ-ის ცალკეული მეორადი გრაგნილებთან და შეერთებული მიმდევრობით ეზგიმ-თან.

ტირისტორული გარდამქმნელმა უნდა იმუშაოს სამ ძირითად რეჟიმში.

1. ხანგრძლივ დამყარებულ რეჟიმში მუდმივი დენის მნიშვნელობისას, რომელიც შეესაბამება ეზგიმ-ის დენის ნომინალურ მნიშვნელობას. აღნიშნულ რეჟიმში პირველი ბლოკი ჩართულია, როგორც გამმართველი, ხოლო მეორე ბლოკი კი, როგორც ინვერტორი. ამ შემთხვევაში ზგტ-ის მეორად გრაგნილებში დენებს გააჩნიათ საწინააღმდეგო მიმართულება და ენერგეტიკული კავშირი ეზგიმ-სა და ენერგეტიკულ სისტემას შორის მინიმალურია.

2. ავარიის მომენტში მოკლე დროით გარდამავალი რეჟიმის დროს პირველი ბლოკი გადადის გამმართველის რეჟიმიდან ინვერტორულ რეჟიმში, იცვლება ზგტ-ში დენის მიმართულება და ენერგია, დაგროვილი ეზგიმ-ში მიეწოდება რეგულირებადი ასინქრონულ დატვირთვას.

3. მოკლე დროით (10^2 წთ) გამმართველ-ინვერტორულ რეჟიმში დენის ზრდით 0-დან $I_{\text{ნომ}}$ -მდე და ეზგიმ-ში ენერჯის დაგროვებით. მოცემულ რეჟიმში, როგორც ხანგრძლივ რეჟიმში არ უნდა იმოქმედოს გავლენა რეგულირებად ასინქრონულ დატვირთვაზე. მოცემული რეჟიმის უზრუნველყოფა ხორციელდება გამმართველის და ინვერტორის ბლოკების რეგულირების კუთხეების (α_1, α_2) ავტომატური მართვის გზით. გამმართველები და ინვერტორები აწყობილია GTO- ჩამკეტი ტირისტორების ბაზაზე. ტირისტორული გარდამქმნელები უზრუნველყოფილია მართვის სისტემით, რომელმაც უნდა ჩართოს ეზგიმ-ი აუცილებელი სწრაფქმედებით, შეიყვანოს ენერჯია და უზრუნველყოს ხანგრძლივი მუშაობა გამმართველისა და ინვერტორის ბლოკების.

ტოროიდული ეზგიმ-ი ხასიათდება მაგნიტური ველის საკმარისი ერთგვაროვნებით და მაგნიტური ველის თვითეკრანირების თვისებით, რაც აძლევს მას უპირატესობას შედარებით სხვა სახის გრანულიებთან (ცილინდრული, სფერული და ა.შ.)

თუ შემოვიტანთ უგანზომილებო პარამეტრს (ნახ.2)

$$K = \frac{D_1}{D_2}, \quad (11)$$

სადაც D_1, D_2 -გარე და შიდა დიამეტრი. მუშა მოცულობა V , რომელშიც შეიქმნება მაგნიტური ველი, განისაზღვრება გამოსახულებით:

$$V = \frac{\pi^2}{16} (K - 1)^2 (K + 1) D_2^3 \quad (12)$$

ეზგიმ-ის მაგნიტური ველის ხვედრითი ენერჯია

$$W_{bz} = \frac{B_{\text{კრ}}^2}{2\mu_0}, \quad (13)$$

სადაც $B_{\text{კრ}}$ -კრიტიკული მაგნიტური ინდუქცია. ეზგიმ-ის მუშა მოცულობისათვის მივიღებთ

$$V = \frac{W}{W_{bz}} = \frac{2\mu_0}{B_{\text{კრ}}^2} W, \quad (14)$$

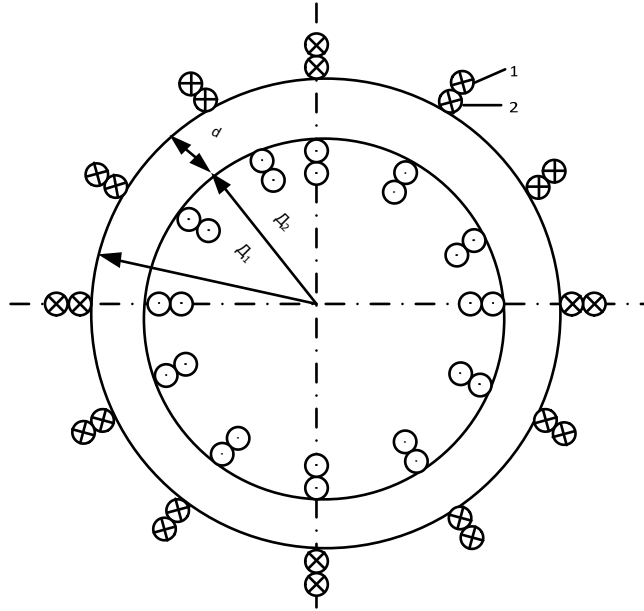
სადაც W -ტოროიდის მაგნიტური ველის სრული ენერჯია. (12) და (14) გამოსახულებიდან მივიღებთ

$$D_2 = \sqrt[3]{\frac{32\mu_0 W}{\pi^2 (K-1)^2 (K+1) B_{\text{კრ}}^2}} \quad (15)$$

$$d = \frac{1}{2} \sqrt{\frac{32\mu_0 W}{\pi^2(K+1)B_{js}^2}} \quad (16)$$

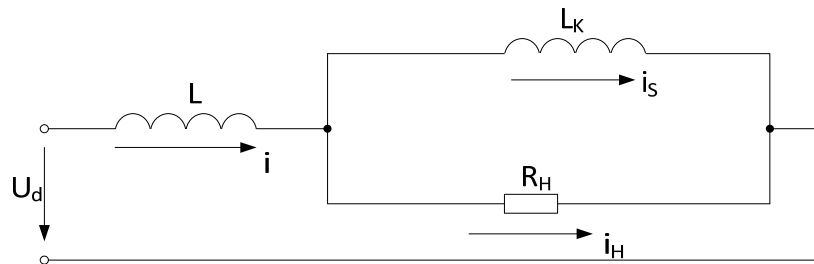
ტოროიდული გრაგნილის ინდუქციურობისათვის მივიღებთ:

$$L = \mu_0 \frac{\pi^2}{32} (K+1)(K-1) \frac{1}{d} D_2^3 \quad (17)$$



ნახ. 2. ეზგიმ-ის ტოროიდული კოჭა

ეზგიმ-ის ჩანაცვლების ელექტრული სქემა გარდამავალ რეჟიმებში ნაჩვენებია ნახ.3



ნახ. 5.3. ეზგიმ-ის ჩანაცვლების ელექტრული სქემა გარდამავალ რეჟიმში

ეზგიმ-ის გარდამავალი პროცესების განტოლებას აქვს შემდეგი სახე:

$$U_d = L \frac{di}{dt} + L_K \frac{di_S}{dt}$$

$$U_d = L \frac{di}{dt} + i_H R_H \quad (18)$$

$$i = i_H + i_S,$$

სადაც $L_K = \ell_K \left(\frac{\ell}{S}\right)$ -ეზგიმ-ის კინეტიკური ინდუქციურობა, ℓ -ზეგამტარის სიგრძე, S -ზეგამტარის კვეთი, $\ell_K = \frac{\ell_{KO}}{n_S^*}$ -ხვედრითი კინეტიკური ინდუქციურობა, ℓ_{KO} -ხვედრითი კინეტიკური ინდუქციურობა, როცა $n_S^* = 1$, $n_S^* = \frac{n_S}{n_o}$ -ზეგამტარული ელექტრონების სიმკვრივის ფარდობითი მნიშვნელობა, n_S -ელექტრონების სიმკვრივე ზეგამტარულ კვეთაში, n_o -ელექტრონების სიმკვრივე სიცარიელეში, R_H -ეზგიმ-ის ნორმალური წინაღობა.

დამყარებულ რეჟიმში $i = const$. R_H წინაღობა დამოკლებულია ინდუქციურობით, $i_H = 0, U_d = 0$ თუ გრაგნილი კარგავს ზეგამტარობას ($L_K \rightarrow \infty; i_S \rightarrow 0; i \rightarrow i_H$), მაშინ დენი გაივლის წინაღობაში $R_H = R_{HO}$. მაღალი დენის სიმკვრივე გამოიწვევს გრაგნილის დანგრევას. იმისათვის, რომ თავიდან აცილებული იქნეს ელექტროთბოდინამიკური აფეთქება, ეზგიმი შესრულებულია ორი ტრანსპორტირებული ერთფენიანი გრაგნილებით, ჩართული პარალელურად. გრაგნილები მაგნიტურად დაკავშირებული არიან (ნახ.1).

ერთ-ერთი გრაგნილის ზეგამტარული მდგომარეობის დაკარგვის შემთხვევაში, მთელი დატვირთვას ღებულობს მეორე გრაგნილი, რომელიც იმყოფება ზეგამტარულ მდგომარეობაში. სწრაფმომქმედი ელექტრონენერგიის ზეგამტარული ინდუქციური მაგროვებელი მაღალი მ.კ.კ-ით, წარმოადგენს ეფექტურ საშუალებას ელექტრომომარაგების სისტემის ეკონომიურობისა და იმედიანობის ამაღლებისა.

განხილულია ნავთობ-გაზ გადამამუშავებელი საწარმოს სარეზერვო ელექტრომომარაგება, უშუალოდ ქვესადგურის სალტეზე ეზგიმ-ის ჩართვით.

ელექტროსისტემის ელექტრული სქემა ნაჩვენებია ნახ.4 სინქრონული კვანძი კვებას ღებულობს გადამცემი ხაზებით. ქვესადგურის სალტიდან იკვებება სამრეწველო ნავთობ-გაზ გადამამუშავებელი კომპლექსი, რომლის ძირითად დატვირთვას წარმოადგენს სინქრონული ელექტრული ძრავები ტიპით $СТДП$,

სიმძლავრით 12000 კვტ-მდე. სინქრონული ელექტროძრავების ჯამური სიმძლავრე შეადგენს 200 მგვტ-ს.

ეზგიმი-ი ჩართულია ქვესადგურის სალტესთან ტვ(ზგტ)-ის საშუალებით და შექცევადი ტირისტორული გარდამქმნელით, რომელიც ასრულებს ეზგიმი-ის კავშირისა და მართვის ყველა ფუნქციას ცვლადი დენის ქსელთან. სინქრონული დატვირთვის სტრუქტურა და პარამეტრები განისაზღვრება სატუმბო და საკომპრესორო დანადგარების ელექტრომოწობილობების განსაკუთრებულობით. საკომპრესორო სადგურის ელექტრომომარაგება ხორციელდება 220/10,5 კვ ძაბვის ქვესადგურიდან დახურული მრავალსექციური განმანაწილებელი მოწობილობით. გაზის ცენტრიდანული კომპრესორის ამძრავისათვის გამოიყენება სინქრონული ელექტრული ძრავა СТДП ტიპის 12 მგვტ სიმძლავრის. ძრავას გააჩნია საჭაერო გაცივების სისტემა და უკონტაქტო აგზნების სისტემა.

სინქრონული დატვირთვის ძირითადი პარამეტრებია:

$X_d = 0,85$; $X'_d = 0,25$. მექანიკური დროის მუდმივა T_g -6წმ საკომპრესორო ძრავას გააჩნია სადემფერო სისტემა, განლაგებული როტორის პოლუსების ზედაპირზე, დემფირების კოეფიციენტი P_d ტოლია 10-ის. აგზნების უკონტაქტო სისტემა კვებავს სინქრონული ძრავას აგზნების გრაგნილს სინქრონული ამგზნებით და მბრუნავი გამმართველით. ამგზნების აგზნების გრაგნილის დროის მუდმივა $T_{a_s} = 1,2$ –წმ, სინქრონული ძრავას აგზნების გრაგნილის დროის მუდმივა $T_{a_o} = 5$ წმ. გადამცემი ხაზის ხვედრითი ინდუქციური წინაღობა, შესრულებული AC მარკის სადენით, შეადგენს 0,4 ომი/კმ. გადამცემი ხაზსა და სინქრონული დატვირთვის შორის კავშირის ტრანსფორმატორის ტიპია $TPHC$ და გააჩნია $U_K = 12\%$.

განვიხილოთ გარდამავალი პროცესი ელექტროსისტემაში, წარმოშობილი შესაძლო უეცარი მოკლედ შერთვის შედეგად გადამცემ ხაზზე (ნახ.4), რომელიც აკავშირებს სინქრონულ დატვირთვის უსასრულო მძლავრ სისტემასთან. პროცესის მიმდევრობა შემდეგია. რელეური დაცვის მოქმედების შემდეგ 0,1 წამზე დაზიანებული ხაზი გამოირთვება და დარჩება კავშირი ელექტროსისტემის ელემენტებს შორის დაუზიანებელი ხაზით. შემდეგ 0,3 წამზე იმოქმედებს ავტომატი

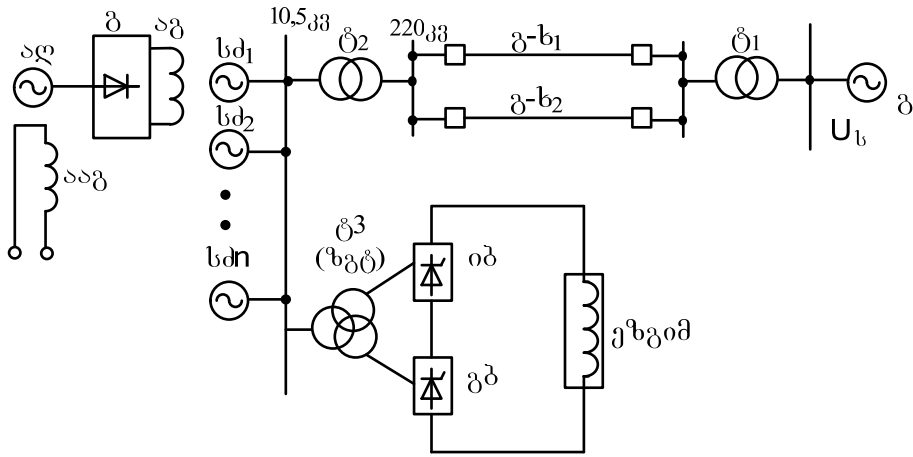
განმეორებითი ჩართვის და ხაზი ხელახლა ჩართვება სისტემასთან. ჩვენი შემთხვევის განსაკუთრებულობა მდგომარეობს იმაში, რომ დაზიანებული ხაზის გამართვის შემდეგ, სწრაფმომქმედი მართვის სისტემის საშუალებით ტირისტორული გარდამქმნელის პირველი ბლოკი გადადის გამმართველის რეჟიმიდან ინვერტორულ რეჟიმში. ენერგია, დაგროვილი ეზგიმ-ის მიერ მაგნიტურ ველში, გარდაიქმნება სინქრონული ელექტრული ძრავას ლილვზე მექანიკურ ენერგიაში.

მათემატიკური მოდელის დამუშავების დროს სინქრონული მანქანა ელექტროსისტემაში წარმოვიდგინოთ გამარტივებული დიფერენციალური განტოლებებით.

მათემატიკური მოდელის დამუშავების დროს მიღებული იქნა შემდეგი დაშვებები: მხედველობაში არ მიიღება აპერიოდული პროცესები სინქრონული ელექტრული, ძრავას სტატორის გრაგნილში; მხედველობაში არ მიიღება სინქრონული მანქანის სტატორის გრაგნილის აქტიური წინაღობა; მაგნიტური სისტემის გაუქმნება გათვალისწინებულია ღუზის გრაგნილის ინდუქციური წინაღობის კორექტირების გზით; ელექტროსისტემის დატვირთვის ხასიათად ითვლება სინქრონული ელექტრული ძრავები, მუშა მექანიზმების (კომპრესორების, ტუმბოების) სიმძლავრე მუდმივია. ანგარიშებში ითვლება, რომ ცვლადი დენი, გაცემული ეზგიმ-დან ელექტრული ძრავების სალტეზე, შეიცავს მხოლოდ პირველი რიგის ჰარმონიკის მდგენელს. ნახ.5-ზე წარმოდგენილია ელექტრული სისტემის ჩანაცვლების სქემა. ჩანაცვლების სქემაზე ეზგიმ-ი წარმოდგენილია სინქრონული ელექტრული ძრავების სალტეზე ჩართული კომპლექსური ცვლადის (აქტიურ-რეაქტიული) $Z_{\text{დ}}=R_{\text{დ}}+jX_{\text{დ}}$ დატვირთვით. დატვირთვის მნიშვნელობა უწყვეტად იცვლება დროში ეზგიმ-ის პარამეტრებთან დამოკიდებულებაში. დატვირთვის აქტიური წინაღობა იქნება დადებითი, ენერგიის დაგროვების რეჟიმში მუშაობის დროს და უარყოფითი ელექტროსისტემაში ენერგიის გაცემის რეჟიმში. დატვირთვის ეკვივალენტური წინაღობის მნიშვნელობის განსაზღვრისათვის განვიხილოთ პროცესები, რომლებიც მიმდინარეობს ეზგიმ-ში და შექცევადი ტირისტორულ გარდამქმნელში, რომელიც ასრულებს ჩართვის და მართვის ფუნქციას ტირისტორული ბლოკის გამმართველ

რეჟიმში მუშაობის დროს გამართული ძაბვის მნიშვნელობა განისაზღვრება ფორმულით

$$U_{d\beta} = bU_{\phi} \cos \alpha - A I_{\phi} X_{\Gamma\beta} \quad (19)$$



ნახ. 4 . ელექტროსისტემის ელექტრული სქემა: იბ-ინვერტორის ბლოკი;

გბ-გამმართველის ბლოკი; ტ1, ტ2-ძალოვანი ტრანსფორმატორები; გ-ხ1, გ-ხ2-გადამცემი საზები; ტ3 (ზგტ)-ზეგამტარული ტრანსფორმატორი;

გ-ეკვივალენტური სინქრონული გენერატორი; სძ-სინქრონული ძრავები;

აგ-აგზნების გრაგნილი; გ-გამმართველი; ად-აგზნების ღუზა; ააგ-ამგზნების აგზნების გრაგნილი

სადაც U_{ϕ} - სინქრონული ელექტროძრავას სალტეზე ძაბვა; გამმართველის სამფაზა ბოგირული სქემის მუდმივებისათვის: $b = 3\sqrt{6}/\pi$; $A = \pi/3$; α -მართვადი ვენტილის რეგულირების კუთხე, I_{ϕ} - გამართული დენი. გარდამქმნელის ტირისტორებში და სალტეებში ძაბვის ვარდნა სიმცირის გამო მხედველობაში არ მიიღება. როცა ტირისტორული ბლოკი მუშაობს ინვერტირების რეჟიმში, გამოსავალზე ძაბვის მნიშვნელობა განისაზღვრება გამოსახულებით

$$U_{d\alpha} = -bU_{\phi} \cos \beta - A I_{\phi} X_{\Gamma\alpha} \quad (20)$$

სადაც β -ინვერტორის რეგულირების კუთხე.

როცა ბლოკები მიმდევრობითაა ჩართული ნახ.4 სქემის შესაბამისად, ძაბვა ეზგიმ-ის გრაგნილზე გამმართველ-ინვერტორულ რეჟიმში შეადგენს

$$L_{\theta} \frac{dI_{\theta}}{dt} = bU_{\theta}(\cos\alpha - \cos\beta) - 2AI_{\theta}X_{\theta\theta}$$

სადაც L_{θ} - ეზგიმ-ის ინდუქციურობა.

ენერგიის ხანგრძლივი შენახვის რეჟიმში, როცა დენი ეზგიმ-ში პრაქტიკულად არ იცვლება, $L_{\theta} \frac{dI_{\theta}}{dt} \approx 0$. დენები ტრანსფორმატორის მეორად გრაგნილებში სიდიდით ტოლია და საწინააღმდეგოდაა მიმართული, ხოლო პირველად გრაგნილში დენი შეესაბამება დამაგნიტების დენს.

ავარიის მომენტში ეზგიმ-ის ჩართვა ელექტროსისტემაში ხორციელდება გამმართველის ბლოკის (გბ) გადაყვანით ინვერტორულ რეჟიმში. ეზგიმ-დან ენერგიის გამოყვანის რეჟიმში, ძაბვის მნიშვნელობა განისაზღვრება (20) გამოსახულებიდან გამომდინარე

$$L_{\theta} \frac{dI_{\theta}}{dt} = -bU_{\theta}(\cos\beta_1 + \cos\beta_2) - 2AI_{\theta}X_{\theta\theta} \quad (22)$$

სადაც β_1, β_2 -ინვერტორული ბლოკების რეგულირების კუთხეები: $\beta_1 \approx \beta_2$.

ეზგიმ-ის მიერ ენერგიის დაგრივების რეჟიმში მუშაობის შემთხვევაში ინვერტორული ბლოკი (იბ) გადადის გამმართველ რეჟიმში. აღნიშნულ რეჟიმში ეზგიმ-ზე ძაბვა

$$L_{\theta} \frac{dI_{\theta}}{dt} = bU_{\theta}(\cos\alpha_1 + \cos\beta_2) - 2AI_{\theta}X_{\theta\theta} \quad (23)$$

სადაც α_1, α_2 -გამმართველის ბლოკების რეგულირების კუთხეები: $\alpha_1 \approx \alpha_2$.

აქტიური სიმძლავრე, რომელიც მიეწოდება ეზგიმ-იდან ელექტროსისტემას,

$$P_{\theta} = maU_{\theta}I_{\theta}\cos\varphi_1; \quad (24)$$

რეაქტიული სიმძლავრე

$$Q_{\theta} = maU_{\theta}I_{\theta}\sin\varphi_1; \quad (25)$$

a -კოეფიციენტი, რომელიც აკავშირებს ცვლადი დენის პირველი რიგის ჰარმონიკის მომქმედ მნიშვნელობას გამართულ დენთან. სამფაზა

ბოგირული სქემისათვის: $a = 0,817$; φ_1 -ფაზური ძვრის კუთხე დენსა და ძაბვას შორის ტვ(ზვტ)-ის მეორადი მხარეზე;

$$\varphi_1 = \beta - \frac{\gamma}{2} \quad (26)$$

ინვერტორის კომუტაციის კუთხე γ ტოლია

$$\gamma = \beta - \arccos(1 + \cos\beta - \cos\gamma_0), \quad (27)$$

სადაც γ_0 -კომუტაციის კუთხე, როცა რეგულირება არ მიმდინარეობს

$$\gamma_0 = \arccos\left(1 - \frac{2x_{\text{ტვ}} I_{\varphi}}{\sqrt{6} U_{\varphi}}\right) \quad (28)$$

დატვირთვის აქტიური და რეაქტიული ეკვივალენტური წინაღობის მნიშვნელობებს განვსაზღვრავტ (24) და (25) სიმძლავრეების მნიშვნელობიდან

ენერგიის გაცემის შემთხვევაში

$$R_{\varphi} = -\frac{U_{\varphi}}{2aI_{\varphi}} \cos\left(\beta - \frac{\gamma}{2}\right); \quad (29)$$

$$X_{\varphi} = -\frac{U_{\varphi}}{2aI_{\varphi}} \sin\left(\beta - \frac{\gamma}{2}\right); \quad (30)$$

ენერგიის დაგროვების შემთხვევაში

$$R_{\varphi} = -\frac{U_{\varphi}}{2aI_{\varphi}} \cos\left(\alpha + \frac{\gamma}{2}\right); \quad (31)$$

$$X_{\varphi} = -\frac{U_{\varphi}}{2aI_{\varphi}} \sin\left(\alpha + \frac{\gamma}{2}\right); \quad (32)$$

სინქრონული ელექტროძრავას როტორის ფარდობითი მოძრაობა, უეცარი ცვლილების შემთხვევაში, განისაზღვრება განტოლებით.

$$T_{\vartheta} \frac{d^2\delta}{dt^2} + P_{\varphi} \frac{d\delta}{dt} = P_1 - P_{\vartheta\varphi} \quad (33)$$

P_1 -სინქრონული მანქანის მიერ სისტემაში გაცემული სიმძლავრე;

$P_{\vartheta\varphi}$ - შემსრულებელი მექანიზმის სიმძლავრე;

T_{ϑ} - მექანიკური მუდმივა;

P_{φ} - დემფირების კოეფიციენტი;

δ - ძვრის კუთხე სინქრონული მანქანის E_q ემძ-ის ვექტორსა და სისტემის სალტეზე U_b ძაბვის ვექტორს შორის.

$$P_1 = \frac{E_q'^2}{|Z_{11}|} \sin\alpha_{11} + \frac{E_q' U_b}{|Z_{12}|} \sin(\delta - \alpha_{12}) \quad (34)$$

სისტემის მიერ მიღებული სიმძლავრე

$$P_2 = -\frac{U_b^2}{|Z_{22}|} \sin \alpha_{22} + \frac{E'_q U_b}{|Z_{12}|} \sin(\delta + \alpha_{12}), \quad (35)$$

სადაც U_b - ელექტროსისტემის სალტეზე ძაბვა;

E'_q - გარდამავალი ემძ-ის განივი მდგენელი;

X'_d ; Z_{ik} -ელექტროსისტემის საკუთარი და ურთიერთ წინააღობები.

მიღებული ჩანაცვლების სქემისათვის (ნახ.5)

$$Z_{11} = jX'_d + \frac{jX_b Z_{\varphi}}{Z_{\varphi} + jX_b}; \quad Z_{12} = j(X'_d + X_b) - \frac{X'_d X_c}{Z_{\varphi}}; \quad Z_{22} = jX_b + \frac{jX'_d Z_{\varphi}}{Z_{\varphi} + jX_b}$$

საკუთარი და ურთიერთ კუთხეები α_{ik} განისაზღვრება გამოსახულების თანახმად

$$\alpha_{ik} = \arctg \frac{r_{ik}}{X_{ik}},$$

სადაც $r_{ik} = R_e Z_{ik}$; $X_{ik} = I_m Z_{ik}$

X_b -ით აღნიშნულია კავშირის რეაქტიული წინააღობა სინქრონული მანქანასა და ელექტროსისტემას შორის. ხანგრძლივი საექსპლუატაციო მუშაობის რეჟიმში

$$X_b = X_{\varphi 1} + \frac{X_b}{2} + X_{\varphi 2},$$

სადაც $X_{\varphi 1}$ - $\varphi 1$ ტრანსფორმატორის რეაქტიული წინააღობა;

$X_{\varphi 2}$ - $\varphi 2$ ტრანსფორმატორის რეაქტიული წინააღობა;

X_b -ერთი გადამცემი ხაზის რეაქტიული წინააღობა;

განხილულია ელექტროსისტემის სამი პარამეტრული მდგომარეობა, რომლის დროსაც მიმდინარეობს X_b -ის დისკრეტული ცვლილება.

1. გადამცემი ხაზის ბოლოზე უეცარი სამფაზა მოკლედ შერთვა:

$$X_b + X_{\varphi 1} = 0; \quad X_b = X_{\varphi 2}$$

2. გადამცემი ხაზის პარალელური დაზიანებული შტოს გამორთვა:

$$X_b = X_{\varphi 1} + X_b + X_{\varphi 2}$$

3. ავტომატის განმეორებითი ჩართვის მოქმედების შემდეგ პარალელური შტოს განმეორებითი ჩართვა:

$$X_b = X_{\varphi 1} + X_b/2 + X_{\varphi 2}$$

როგორც ჩანს, ენერგეტიკული კავშირი ელექტროსისტემასა და სინქრონული დატვირთვას შორის ირღვევა მხოლოდ სამფაზა მოკლედ შერთვის დროს. დაზიანებული ხაზის გამორთვის შემდეგ კავშირი

აღდგება და შემდგომი რეჟიმის ცვლილება დაკავშირებულია მხოლოდ კავშირის რეაქტიული წინაღობის დისკრეტულ ცვლილებასთან. მათემატიკური მოდელი საშუალებას იძლევა აგრეთვე განვიხილოთ რეაქტიული სიმძლავრის განაწილება ელექტროსისტემაში. რეაქტიული სიმძლავრე, გამომუშავებული სინქრონული მანქანის მიერ Q_1 და სიმძლავრე მიღებული სისტემის მიერ, განისაზღვრება შემდეგი გამოსახულებიდან:

$$Q_1 = \frac{E_q'^2}{|Z_{11}|} \cos \alpha_{11} + \frac{E_q' U_b}{|Z_{12}|} \cos(\delta - \alpha_{12}); \quad (36)$$

$$Q_2 = \frac{U_b^2}{|Z_{22}|} \cos \alpha_{22} + \frac{E_q' U_b}{|Z_{12}|} \cos(\delta + \alpha_{12}), \quad (37)$$

რეაქტიული დანაკარგების ჯამური სიმძლავრე გადამცემ ხაზზე და სინქრონულ დატვირთვაში განისაზღვრება შემდეგი გამოსახულების

$$Q_\sigma = \frac{(P_1^2 + Q_1^2)}{E_q'^2} + \frac{(P_2^2 + Q_2^2) X_b}{U_b^2} \quad (38)$$

რეაქტიული სიმძლავრის მნიშვნელობა დაკავშირებულია ბალანსის განტოლებასთან:

$$Q_1 - Q_2 - Q_\sigma - Q_b = 0 \quad (39)$$

სინქრონული ძრავას საღტეზე ძაბვა U_∂ დაკავშირებულია სიმძლავრეების ნაკადებთან:

$$U_\partial = \sqrt{\left(U_b + \frac{Q_2 X_b}{U_b}\right)^2 + \left(\frac{P_2 X_b}{U_b}\right)^2} \quad (40)$$

(33) განტოლება წარმოადგენს მეორე რიგის არახაზოვან დიფერენციალურ განტოლებას, რომლის ამოხსნა ანალიზური მეთოდებით შეუძლებელია. ანალოგიური ამოცანების ამოსახსნელად გამოიყენება თანმიმდევრობით მიახლოების მეთოდი, რომელშიც კოორდინატის ახალი მნიშვნელობის გამოთვლისათვის (t_n, t_{n+1}) დროის მონაკვეთზე გამოიყენება საშუალო სიჩქარე. (33) დიფერენციალური განტოლება შეიძლება წარმოვიდგინოთ ორი პირველი რიგის დიფერენციალური განტოლების სახით

$$\frac{d\omega}{dt} = -\frac{P_\sigma}{T_\partial} \omega + (P_{\partial\partial} - P_1) \frac{360 \times 50}{T_\partial} \quad (41)$$

$$\frac{d\delta}{dt} = \omega \quad (42)$$

(23) განტოლება ჩაიწერება შემდეგი სახით

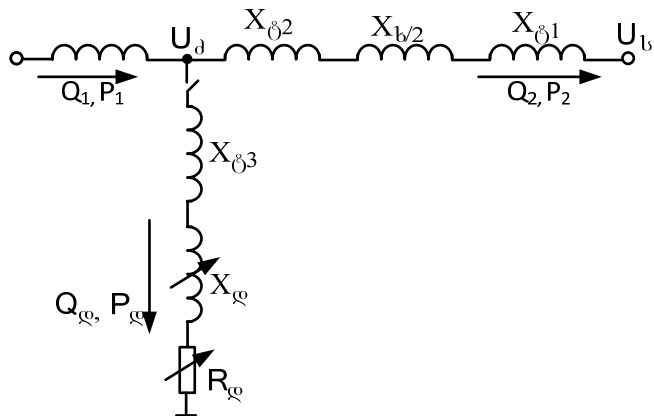
$$\frac{dI_{\varphi}}{dt} = -\frac{2}{L_{\varphi}}(bU_{\varphi}\cos\beta + AI_{\varphi}X_{\varphi}) \quad (43)$$

(41)-(43) განტოლებები წარმოადგენენ ხაზოვან დიფერენციალურ განტოლებებს ω, δ და I_{φ} ცვლადების მიმართ. სიმძლავრის განსაზღვრისათვის, რომელიც მიეწოდება ეზგიმ-ის მიერ სინქრონულ დატვირთვას ავარიულ რეჟიმში, აუცილებელია ვიცოდეთ სინქრონული დატვირთვის სალტზე ძაბვის მყისი მნიშვნელობა U_{φ} , რომელიც არ რჩება მუდმივი როტორის რხევის დროს. U_{φ} მნიშვნელობა იცვლება აქტიური და რეაქტიული სიმძლავრის ცვლილებასთან ერთად (40) გამოსახულების თანახმად.

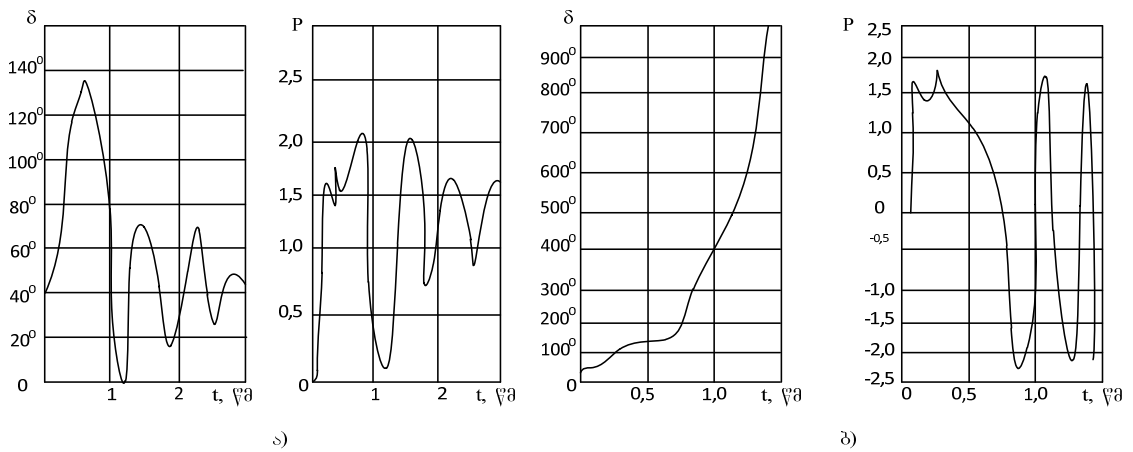
(41)-(43) განტოლებების რიცხობრივი ამოხსნა იძლევა საშუალებას თვალი ვადევნოთ რხევის პროცესს საწყისი პარამეტრების სხვადასხვა მნიშვნელობებისათვის. ამოხსნის შედეგად გამოითვლება ძირითადი სიდიდეები, რომლითაც ხასიათდება ელექტრული სისტემა: რხევის კუთხე δ , დენები ეზგიმ-ის და სინქრონული დატვირთვის, ძაბვა სინქრონული ძრავას მომჭერებზე U_{φ} , ეზგიმ-ის გამართული U_d , ეზგიმ-ის მყისი სიმძლავრე P_{φ}, Q_{φ} , ელექტრომაგნიტური სიმძლავრე სინქრონული დატვირთვის ლილვზე P_1, Q_1 , აგრეთვე სიმძლავრე მიღებული სისტემიდან P_2, Q_2 .

შედარებით ანგარიშისათვის მივიღოთ: სიმძლავრის ბაზისური მნიშვნელობა $S_{\varphi} = 200$ მგვტ; საწყისი რეჟიმისათვის $\cos\varphi = 0,98$. X_{φ} -ის მნიშვნელობა შეესაბამება გადამცემი ხაზის სიგრძეს, 300 კმ და ტოლია 0,49 ფარდობით ერთეულებში. ეზგიმ-ის არ მონაწილეობა აღიწერება სისტემის მდგომარეობით, რომელშიც Z_{φ} წინააღობის ნამდვილი და წარმოსახვითი ნაწილი უსასრულოდ დიდია.

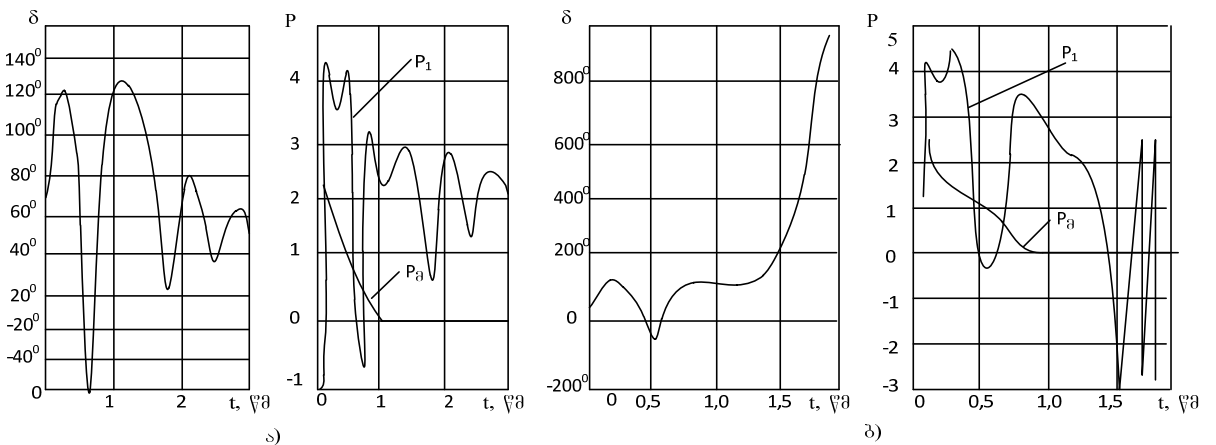
ნახ.6,7,8,9,10,11 მოცემულია რიცხობრივი ექსპერიმენტის შედეგები



ნახ.5. ელექტროსისტემის ჩანაცვლების სქემა



ნახ. 6. გარდამავალი პროცესი ეზგიმ-ის მონაწილეობის გარეშე
 ა - გადამცემი ხაზის მიერ გადაცემული სიმძლავრე: $P_o = 1,34$; $Q_o = 0,258$;
 ბ - $P_o = 1,35$; $Q_o = 0,27$

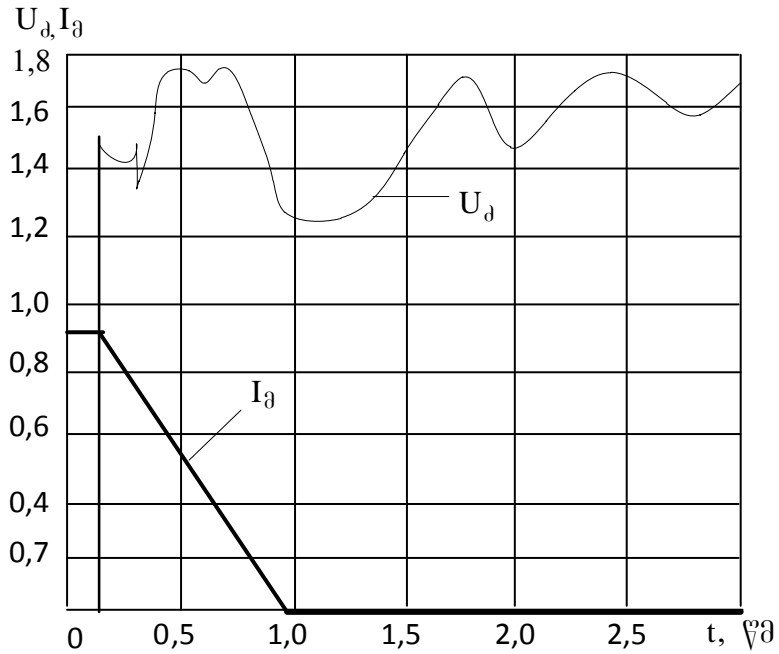


ნახ. 7. გარდამავალი პროცესი ეზგიმ-ის მონაწილეობით:

ა) ეზგიმ-ის საწყისი დენი $I_{\partial 0} = 10$ კა; გადაცემული სიმძლავრე

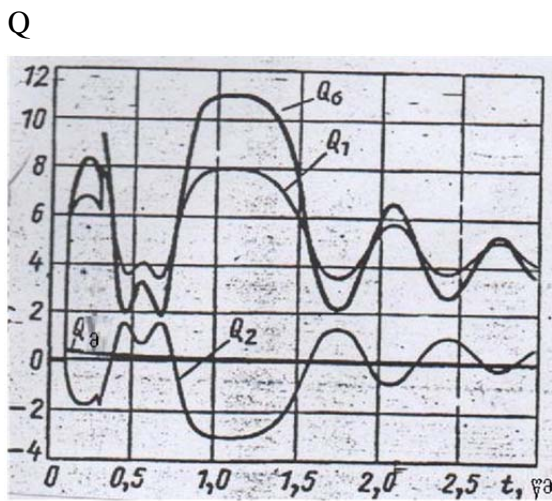
$$P_o = 2,27; Q_o = 0,454;$$

ბ) $I_{\partial 0} = 10$ კა; $P_o = 2,28; Q_o = 0,456$



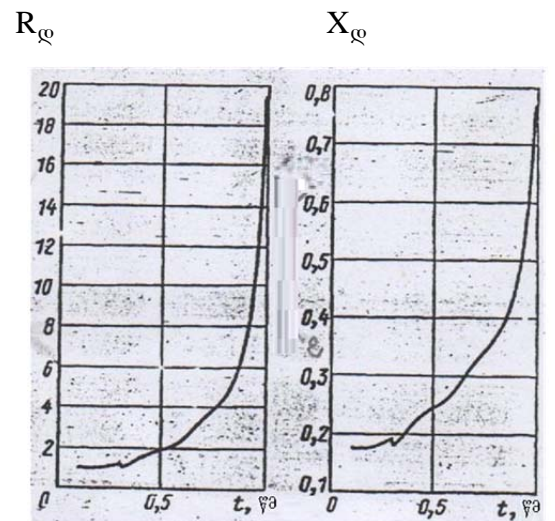
ნახ. 8. ეზგიმ-ის დენი I_{∂} და ძაბვა სინქრონული ძრავას საღტეზე

U_{∂} : გადაცემული სიმძლავრე $P_o = 2,27; Q_o = 0,454;$



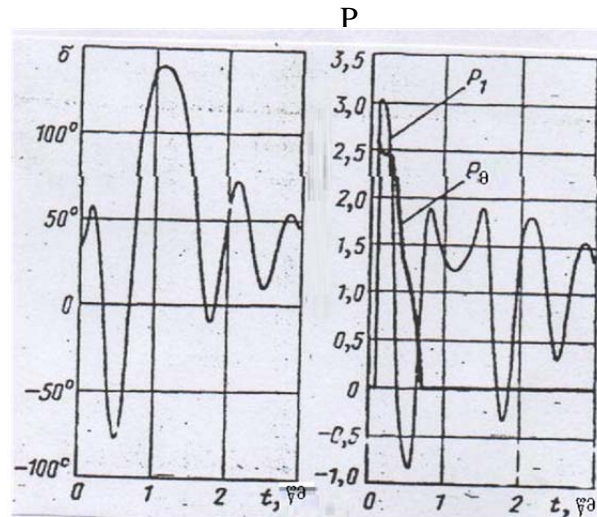
ნახ. 9. გარდამავალ პროცესში რეაქტიული სიმძლავრეების დამოკიდებულება დროში:

$$P_o = 2,27; Q_o = 0,454;$$



ნახ.10. ეკვივალენტური კომპლექსური წინააღობის ცვლილება ენერჯის გამოყვანის პროცესში: $P_o = 2,27;$

$$Q_o = 0,454;$$



ნახ.11. გარდამავალი პროცესი ეზგიმ-ის ორი მოდულის სექციებად
 პარალელურად ჩართვის შემთხვევაში: ეზგიმ-ის საწყისი დენი $I_0 =$
 20 კა; $P_0 = 1,08$; $Q_0 = 0,216$ (სისტემა იმყოფება მდგრადობის ზღვარზე)

დასკვნები

1. განსაზღვრულია ენერჯის ინდუქციური მაგროვებელში ინდუქციურობების, მაგნიტური ველების და ელექტროდინამიკური ძალების ანგარიშის ძირითადი თანაფარდობები.

2. განხილულია ენერჯის ინდუქციური მაგროვებლების ძირითადი ტიპები, მათი შედარებითი ანალიზი, პარამეტრებისა და მაჩვენებლების მიხედვით.

3. შესწავლილია ენერჯის ინდუქციურ მაგროვებელში ენერგეტიკული პროცესები, მისი დამუხტვისა და განმუხტვის რეჟიმებში, ინდუქციურ ელემენტებიან წრედებში.

4. დამუშავებულია ელექტროენერჯის ზეგამტარული ინდუქციური მაგროვებლის ჩართვის სქემა ენერგეტიკულ სისტემაში, მიღებულია ძირითადი თანაფარდობები მისი პარამეტრების და მაჩვენებლების დასადგენად.

5. განხილულია ელექტრული სისტემის დინამიკური მდგრადობის ამალღებისათვის ელექტროენერჯის ზეგამტარული ინდუქციური მაგროვებლის გამოყენება, სინქრონული ელექტრული ძრავებით დატვირთვის დროს.

6. დამუშავებულია მათემატიკური მოდელი ელექტრომექანიკური გარდამავალი პროცესების შესწავლისათვის, რომლებიც მიმდინარეობს ელექტროსისტემაში ელექტროენერჯის ზეგამტარული ინდუქციური მაგროვებლის მონაწილეობით, სინქრონული ელექტრული ძრავებით დატვირთვის დროს.

7. ჩატარებულია რიცხობრივი ექსპერიმენტის შედეგების ანალიზი. გარდამავალი პროცესის ხასიათი დამოკიდებულია დაგროვილი ენერჯის სიდიდეზე და ელექტროენერჯის ზეგამტარული ინდუქციური მაგროვებლიდან ენერჯის გამოყვანის სისწრაფეზე.

8. დადგენილია, რომ პარალელურად შეერთებული ორი მაგროვებლის მოდულის ჩართვა საშუალებას იძლევა გაიზარდოს მდგრადობის მარაგი დაახლოებით 20%-ზე, შედარებით ერთი მოდულის გამოყენების დროს. სამი მოდულის გამოყენება ნაკლებად ეფექტურია, ხოლო შემდეგი გაზრდა მოდულების რიცხვის არამიზანშეწონილია.

9. ელექტროენერჯის ზეგამტარული ინდუქციური მაგროვებლის ენერჯია და მისგან ენერჯის გამოყვანის სისწრაფე უნდა იყოს შეთანხმებული სინქრონული დატვირთვის პარამეტრებთან, კერძოდ მაგროვებლის მაქსიმალური სიმძლავრე არ უნდა აჭარბებდეს დატვირთვის სიმძლავრეს, ხოლო მაგროვებლიდან ენერჯის გამოყვანის დრო არ უნდა იყოს რხევის პერიოდზე ნაკლები.

10. დადგენილია, რომ ელექტროენერჯის ზეგამტარული ინდუქციური მაგროვებლის ჩართვის დრო მნიშვნელოვან გავლენას ახდენს მდგრადობის ამადლებაზე, მაგროვებლის ჩართვის დაყოვნება დაუშვებელია და მისი ჩართვა უნდა განხორციელდეს სინქრონიზირებულად დაზიანებული ხაზის გამორთვისთან ერთად.

დისერტაციის თემაზე გამოქვეყნებული ლიტერატურა

1. თ. კოხრეიძე, ვ. მეტრეველი, ნ. უფლისაშვილი. ახალი თაობის ელექტროენერჯის ზეგამტარული ინდუქციური მაგროვებლის გამოყენების პერსპექტივა საქართველოს ელექტროენერგეტიკულ სისტემაში. “ენერჯია”, №3(67), 2013, გვ.31-37.
2. თ. კოხრეიძე, ვ. მეტრეველი. ელექტრული სისტემის დინამიკური მდგრადობის ამაღლებისათვის ელექტროენერჯის ზეგამტარული ინდუქციური მაგროვებლის გამოყენება და პროცესების მათემატიკური უზრუნველყოფა. “ინტელექტუალი”, 2014, №25, გვ. 133-142.
3. თ. კოხრეიძე, ვ. მეტრეველი. ელექტროსისტემის შემაღენლობაში ელექტროენერჯის ზეგამტარული ინდუქციური მაგროვებლის მუშაობის სპეციალური რეჟიმები. “ენერჯია”, №3(71), 2014, გვ.4-6.
4. თ.კოხრეიძე, ვ. მეტრეველი. სინქრონული ელექტრული ძრავებით დატვირთულ ელექტროსისტემაში ენერჯის ზეგამტარული ინდუქციური მაგროვებლის მუშაობის დროს ელექტრომექანიკური პროცესები. III საერთაშორისო სამეცნიერო კონფერენცია, ენერგეტიკა: რეგიონული პრობლემები და განვითარების პერსპექტივები, მოხსენებების კრებული, 2015, ქუთაისი, საქართველო, გვ. 66-71.

Summary

In the world the production and use of various types of energy is growing at a rapid pace as a result of human activities in all fields. At the same time the processes of energy conversion are become complicated, a variety of power equipment and aggregates is expanding, which should ensure rational modes for different types of power supply. Along with an increase of numerical indicators of Energy supply for industry, transport, agriculture and other household sectors, the power quality index plays a key role, that is related to the rational matching of energy options at various stages of its transformation. Energy storages, which are important intermediate link in energy generation, transmission and consumption systems have important role in solving this problem.

In the dissertation thesis we discuss the superconducting inductive energy storage with high energy efficiency, which is one of the effective tool that can play an important role in the resolution of country's energy security. The superconducting inductive energy storage has the ability to perform the following functions: Static and dynamic stability improvement, covering peak loads, maintenance of voltage at certain points of the system, ensuring the restoration of frequency and power storage in case of violation of active power balance in the system. The superconducting inductive energy storage is characterized by such qualities as: Switching speed, high efficiency, capability of full automation of power input and output and damping of electromechanical processes in post accident modes in generators. Currently, the superconducting inductive energy storage attracts great attention of the Power Engineers in terms of its capabilities, such as accumulation of power and its fast realization. Its use in the Energy sector is great perspective, it may become an effective tool of improving the reliability and efficiency of electrical system.

The first chapter of the thesis includes the results of analysis of literary sources, information about inductive energy storage, characteristics of magnetic fields and electrodynamic torque calculation.

The second chapter refers to the main types of inductive energy storage, their parameters and indices. The inductive energy storage with rectangular section in the form of cylindrical shaped coil, the inductive energy storage in the form of ring-shaped coil, inductive energy storage in the form of thin solenoid, spherical inductive energy storage, dipole type coil storage screening and toroidal inductive energy storage are studied. It is shown that in the toroidal coil the current twists are located toroidal surface and includes the central line of the ring. The magnetic induction lines of the main field are bound around the torus axis. For perfect torus with homogeneous power layers all magnetic fields are concentrated within the toroidal surface. In real construction there are external magnetic fields but they damp down much faster than in other types of storage, which is the main advantage of toroidal inductive energy storage.

The third chapter is devoted to the study of energy processes in the inductive energy storage. Chapter discusses the processes of charging and discharging in the inductive energy storage, the nature of power changes in windings of transformer inductive energy storage, the question of optimization of the Coupling coefficient, as well as the use of inductive energy storage in the circuits with capacity and the inductive element. The role of eddy currents in inductive energy storage is analyzed .

The fourth chapter of the work discusses the superconducting inductive energy storage. The main correlations in the superconducting inductive energy storage are developed. The circuit changer for inductive energy storage circuits and its power supply is studied .

The fifth chapter of the thesis refers to study of the peculiarities of performance of superconducting inductive energy storage in the electricity system. It discusses the perspective of using the new generation superconducting inductive energy storage in the electricity system of Georgia, use of superconducting inductive energy storage for the improvement of dynamic stability of the electrical system and mathematical software, analysis of the results of numerical experiments. The paper discusses the special modes of operation of superconducting inductive energy

storage within electricity system, such as: Energy accumulation mode, Energy Output Mode and its maximum discharge mode.