

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

ხელნაწერის უფლებით

ლევან მებონია

ენგურჰესის ჰიდროგენერატორის ტირისტორული აგზნების სისტემაში
ელექტრომაგნიტური პროცესები

დოქტორის აკადემიური ხარისხის მოსაპოვებლად წარდგენილი
დისერტაციის

ა ვ ტ ო რ ე ფ ე რ ა ტ ი

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 კოსრეიძე

რეცენზენტები:

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

კორპუსი 8, აუდიტორია -----

მისამართი: 0175, თბილისი, კოსტავას 77.

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

სადისერტაციო საბჭოს მდივანი,
ასოცირებული პროფესორი

გ. გიგინეიშვილი

ნაშრომის ზოგადი დახასიათება

სამუშაოს აქტუალობა. ენერგოსისტემაში სინქრონული მანქანების მუშაობის მაღალი ეფექტურობა მჭიდროდაა დაკავშირებული აგზნების და აგზნების ავტომატური რეგულატორის სრულყოფილი სისტემების გამოყენებასთან.

ამჟამად, წარსულს ჩაბარდა კოლექტორული აგზნების სისტემები. ისინი შეცვალა სტატიკური და მბრუნავი ნახევრადგამტარული გამმართველებმა.

აგზნების სისტემაში მრავალი რთული მოვლენებს შორის განსაკუთრებული ადგილი უკავია ელექტრომაგნიტურ პროცესებს. მოცემულსამუშაოში აღნიშნული პროცესები განხილულია სტატიკური ტირისტორული თვითაგზნების სისტემისათვის და მოიცავს დამყარებულ და გარდამავალ რეჟიმებს.

მძლავრდენისა ნახევრადგამტარული ვენტილების გამოყენებას შემოაქვს სპეციფიკური განსაკუთრებულობა მოწყობილობის ექსპლუატაციაში, რომელიც მუშაობს მანქანის როტორის გრაგნილის წრედში. მათ მიეკუთვნება მაღალსიხშირული რხევები და გადამეტებები.

დენების ცვლილების არასინუსოიდური ხასიათმა გამოიწვია აუცილებლობა მომქმედი და ჰარმონიკული დენების ანგარიშის მეთოდების განვითარებისა.

აგზნების სისტემას და აგზნების ავტომატურ რეგულატორს გააჩნია გადამწყვეტი გავლენა სინქრონული გენერატორების სტატიკურ და დინამიკურ მდგრადობაზე. გამომდინარე აქედან ჰიდროგენერატორის ტირისტორული აგზნების სისტემაში ელექტრომაგნიტური პროცესების შესწავლა არ კარგავს აქტუალობას.

სამუშაოს მიზანი: გამოკვლეული იქნეს ჰიდროგენერატორის ტირისტორული აგზნების სისტემაში ელექტრომაგნიტური პროცესები.

ძირითადი ამოცანები. დასახული მიზნის შესაბამისად ფორმულირებული იქნა შემდეგი ამოცანები:

1. დამუშავებული იქნეს ჰიდროგენერატორის ტირისტორული აგზნების სისტემაში ელექტრომაგნიტური პროცესების საანგარიშო მათემატიკური მოდელი. როგორც სიმეტრიული სამფაზა მოკლე შერთვის ისე არასიმეტრიული მოკლე შერთვის დროს.

2. გამოკვლეული იქნეს ჰიდროგენერატორის ტირისტორული აგზნების სისტემის სხვადასხვა სქემები; სამფაზა ბოგირული სქემა ნულოვანი ვენტილებით და მის გარეშე; თვითაგზნების ტირისტორული სისტემა ნულოვანი ვენტილებით და ექვსფაზა სქემით სამფაზა გამათანაბრებელი რეაქტორით. მიღებული იქნეს ძირითადი თანაფარდობები, რომლის საფუძველზე აგებული იქნება რეგულირების კუთხის და კომუტაციის კუთხის ცვლილების არე.

3. გამოკვლეული იქნეს ნულოვანი ვენტილების როლი ჰიდროგენერატორის ტირისტორული აგზნების სისტემის სხვადასხვა სქემებში, ელექტრომაგნიტური პროცესების შესწავლის საფუძველზე.

4. შესწავლილი იქნეს ჰიდროგენერატორის ტირისტორული აგზნების სისტემაში ელექტრომაგნიტური პროცესები მიმდევრობითი ვოლტსამატი ტრანსფორმატორის მონაწილეობით და მის გარეშე.

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

სამეცნიერო სიახლე:

1. დამუშავებულია ჰიდროგენერატორის ტირისტორული აგზნების სისტემაში ელექტრომაგნიტური პროცესების საანგარიშო მათემატიკური მოდელი როგორც სიმეტრიული სამფაზა მოკლე შერთვის ისე არასიმეტრიული მოკლე შერთვის დროს.

2. გამოკვლეულია ჰიდროგენერატორის ტირისტორული აგზნების სისტემის სხვადასხვა სქემები: სამფაზა ბოგირული სქემა ნულოვანი ვენტილებით და მის გარეშე; თვითაგზნების ტირისტორული სისტემა ნულოვანი ვენტილებით და ექვსფაზა სქემით სამფაზა გამათანაბრებელი რეაქტორით. მიღებული ფორმულების საფუძველზე

აგებულია რეგულირების კუთხის და კომუტაციის კუთხის ცვლილების არე (α, γ) კორდინატებში. აღნიშნული დიაგრამები ნათელ წარმოდგენას იძლევიან ტირისტორული აგზნების სისტემის ყველა რეჟიმში მუშაობაზე.

3. ნაჩვენებია, რომ ტირისტორული აგზნების სისტემაში ნულოვანი ვენტილების გამოყენება ახდენს მთელი რიგი უწყესივრიბათა აცილებას, ხარისხვნად აუმჯობესებს ტირისტორული აგზნების სისტემას.

შედგების გამოყენების სფერო. სადისერტაციო სამუშაოში მიღებული შედეგები შეიძლება გამოყენებული იქნეს სინქრონული თბო- და ჰიდროგენერატორების ტირისტორული აგზნების სისტემების ექსპლუატაციის პროცესში.

აპრობაცია. სადისერტაციო სამუშაოს ძირითადი შედეგები მოხსენებული იქნა აკაკი წერეთლის სახელმწიფო უნივერსიტეტში მე-III საერთაშორისო სამეცნიერო კონფერენციაზე, ენერგეტიკა: რეგიონული პრობლემები და განვითარების პერსპექტივები (2015 წ.).

სადისერტაციო სამუშაოს შედეგები გამოქვეყნებული იქნა ოთხ სამეცნიერო სტატიაში.

დისერტაციის სტრუქტურა და მოცულობა. დისერტაცია შედგება შესავლისა და 5 თავისაგან, რომლებიც გადმოცემულია 152 გვერდზე. შეიცავს 34 ნახაზს, 7 ცხრილს და 55 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 წარმოდგენილია ჰიდროგენერატორის მძლავრდენისა ტირისტორული აგზნების სისტემაში ელექტრომაგნიტური პროცესების მათემატიკური მოდელი.

ნახ.1. მოცემულია ჰიდროგენერატორის სტატიკური მძლავრდენისა ტირისტორული აგზნების სისტემა. განხილულია აგზნების სისტემის მუშაობის თავისებურებანი.

როტორის გრაგნილი კვებას ღებულობა გამმართველებიდან, ჩართული გამმართველი ტრანსფორმატორის მეორად გრაგნილთან. პირველადი გრაგნილი უშუალოდ მიერთებულია ჰიდროგენერატორის გამომყვანებთან. თითოეული გამმართველი გათვლილია იმაზე, რომ უზრუნველყოს გენერატორის მუშაობის რეჟიმი ნომინალური აქტიური სიმძლავრით, როცა $\cos\varphi = 1$. გამმართველებს ცვლადი და მუდმივი დენის მხარეს გააჩნია ჩამრახები. ეს იძლევა საშუალებას ჩავატაროთ პროფილაქტიკური და სარემონტო სამუშაოები ერთ-ერთ მათგანზე გენერატორის გამორთვის გარეშე.

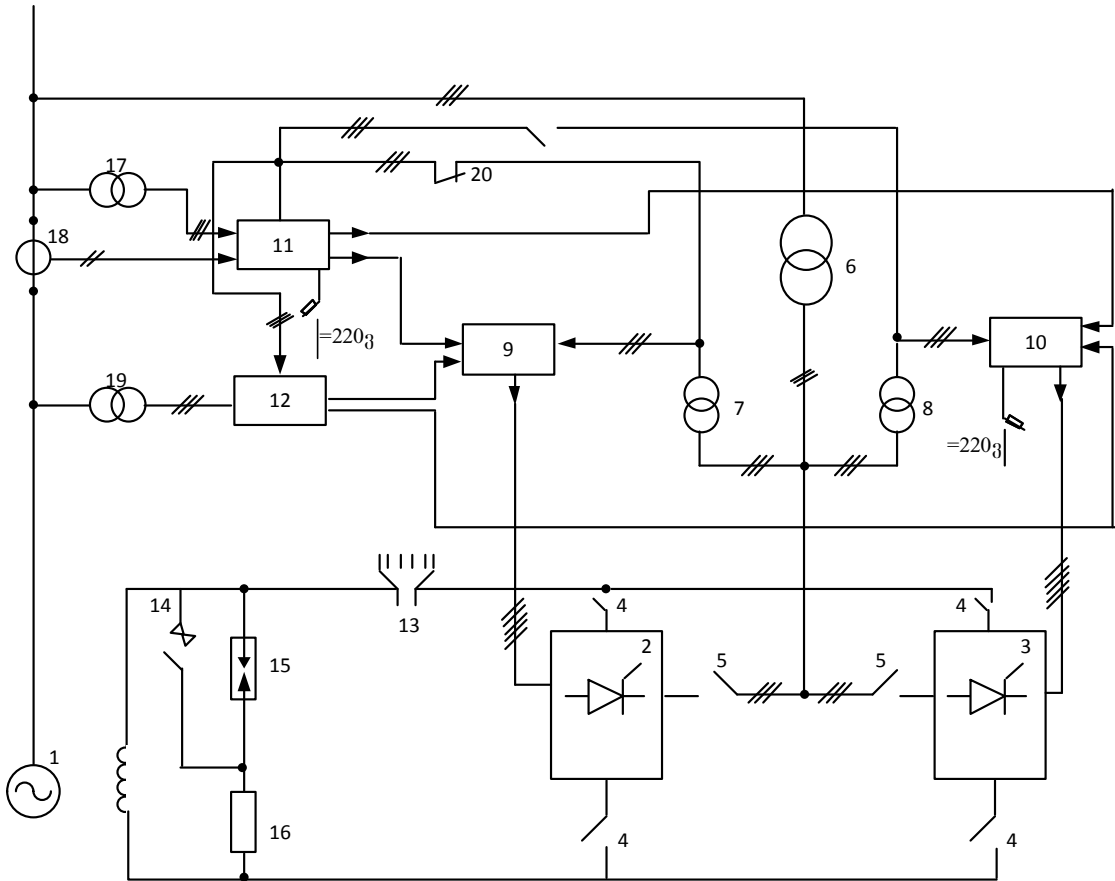
თბური ანგარიში გამმართველების ითვალისწინებს შემდეგი პირობების შესრულებას:

- ნომინალური მუშაობის რეჟიმი უზრუნველყოფილია ვენტილების სრული რიცხვის დროს და როცა თითოეულ მხარეში პარალელურ შტოდან ერთ-ერთის მტყუნებას აქვს ადგილი;

- გადატვირთვა ფორსირების დროს ($t_{ფ}$) ნომინალური რეჟიმიდან $2I_{აგ}$ -მდე.

აღნიშნული რეჟიმი უზრუნველყოფილი უნდა იქნეს ვენტილების სრული რიცხვის დროს და როცა თითოეულ მხარეში პარალელურ შტოდან ერთ-ერთის მტყუნებას აქვს ადგილი;

დატვირთვის შეზღუდვის რეჟიმი $P = P_6$ და $\cos\varphi = 1$ უზრუნველყოფილი უნდა იქნეს როცა ადგილი აქვს გამმართველის ნებისმიერ მხარეში ორი პარალელური შტოს მტყუნებას ან როცა ადგილი აქვს ორი გამმართველიდან ერთ-ერთის გამორთვას.



ნახ.1. პიდროგენერატორის სტატიკური მძლავრდენისა ტირისტორული აგზნების სისტემა: 1 - პიდროგენერატორი; 2,3 - ტირისტორული გარდამქმნელები; 4 - ჩამრახები მუდმივი დენის მხარეს; 5 - ჩამრახები ცვლადი დენის მხარეს; 6 - გამმართველი ტრანსფორმატორი; 7,8 - საკუთარი მოხმარების ტრანსფორმატორები; 9,10 - მძლავრდენისა ტირისტორული გარდამქმნელების მართვის სისტემები; 11 - აგზნების ავტომატური რეგულატორი; 12 - ძაბვის ავტომატური რეგულატორი; 13 - ველის ქრობის ავტომატი; 14 - თვითსინქრონიზაციის კონტაქტორი; 15 - მცდეელი; 16 - თვითსინქრონიზაციის წინაღობა; 17,19 - ძაბვის ტრანსფორმატორები; 18 - დენის ტრანსფორმატორი; 20 - კვების რელე.

საწყისი აგზნება გენერატორის ქსელში ჩართვის დროს ზუსტი სინქრონიზაციის მეთოდით, ხორციელდება საკუთარი მოხმარების 0,4 კვ ძაბვის ქსელიდან ან სააკუმულატორო ბატარეადან.

ველის ქრობა გენერატორის მუშაობის ნორმალურ რეჟიმში ხორციელდება, როცა ადგილი აქვს ავრეგატის ნორმალურ გაჩერებას, გარდამქმნელის ინვერტორულ რეჟიმში გადაყვანით, ხოლო ავარიულ რეჟიმში ველის ქრობის ავტომატით.

აგზნების რეგულირება ხორციელდება ძლიერი მოქმედების აგზნების ავტომატური რეგულატორით, რომელიც ზემოქმედებს ტირისტორული გამმართველების ორივე მართვის სისტემაზე. ძლიერი მოქმედების აგზნების ავტომატური რეგულატორის პარალელურად გვაქვს პროპორციული მოქმედების ძაბვის ავტომატური რეგულატორი, რომელიც მუშაობაში შედის ძირითადი რეგულატორის გამორთვის დროს. ძაბვის ავტომატური რეგულატორი მუშაობს ორ რეჟიმში – მიმყოლი და წამყვანი; მას გააჩნია მახსოვრობის და რეგულირების არხები. მიმყოლი რეჟიმში ძაბვის ავტომატური რეგულატორი იმახსოვრებს სიგნალებს, პროპორციული გენერატორის სტატორზე ძაბვის და მიწოდებული ტირისტორების მართვის სისტემაზე მთავარი რეგულატორიდან. მთავარი რეგულატორის გამორთვის დროს ძაბვის ავტომატური რეგულატორი გადადის წამყვან რეჟიმში და ახორციელებს გენერატორის ძაბვის რეგულირებას. ძაბვის ავტომატური რეგულატორის დანაყენის ცვლილება მიმდინარეობს დისტანციურად მართვის ფარიდან. მთავარი რეგულატორის გადასვლის დროს სარეზერვოზე, როტორის დენის ცვლილება არ აჭარბებს $\pm 10\%$. მოცემულ აგზნების სისტემაში გამმართველებს გააჩნია ბუნებრივი საჰაერო გაცივება.

ელექტრომაგნიტური პროცესები ტირისტორული აგზნების სისტემაში უპირველეს ყოვლისა განიხილება გამმართველ სისტემაში. თავიდან განიხილულია აგზნების სისტემა ერთჯგუფიანი, შემდეგ ორჯგუფიანი გარდამქმნელის ბოგირული სქემით. გენერატორის აგზნების დენი ნორმალურ რეჟიმში განისაზღვრება გარდამქმნელის გარე მახასიათებლის და ძაბვების ვექტორული დიაგრამის საშუალებით. მიღებულია ძირითადი თანაფარდობები როგორც ერთჯგუფიანი ისე ორჯგუფიანი გარდამქმნელებისათვის, რომლებიც საშუალებას იძლევა ელექტრომაგნიტური პროცესების ანალიზის.

მიღებულია სამფაზა მოკლე შერთვის რეჟიმისთვის განტოლებები. მოკლე შერთვა განხილულია გენერატორის გამომყვანებსა და გადამცემი ხაზის დასაწყისში, რომელიც წარმოადგენს გაცილებით მძიმე პირობას თვითაგზნების სისტემის მუშაობის დროს. ამიტომ გარდამავალი პროცესის გამოკვლევა მიზანშეწონილია შესრულდეს აღნიშნული ზღვრული შემთხვევისათვის. მიღებულია როგორც პერიოდული, ისე აპერიოდული მდგენელების საანგარიშო თანაფარდობები, რომლებიც იძლევიან პროცესების ანალიზის ჩატარების საშუალებას.

გენერატორის აგზნების წრედზე მოდებული მუდმივი ძაბვა ნორმალურ რეჟიმში U_d ტოლია:

$$U_d = \frac{3\sqrt{3}}{\pi} E_m \cos\alpha - 2\Delta U - \frac{3}{\pi} x I_d - \left(2 - \frac{3\gamma}{2\pi}\right) r I_d, \quad (1)$$

სადაც, E_m -ემძ-ის მაქსიმალური მნიშვნელობა, α - მართვის კუთხე, ΔU – პირდაპირი ძაბვის ვარდნა ტირისტორებში სქემის ერთ მხარეს, I_d - გამართული დენის საშუალო მნიშვნელობა, X – გამმართველი ტრანსფორმატორის ინდუქციური წინაღობა, γ – კომუტაციის კუთხე გამმართველის ნორმალურ რეჟიმში მუშაობის დროს, r -გამმართველი ტრანსფორმატორის აქტიური წინაღობა.

ემძ-ის მაქსიმალური E_m -ის მნიშვნელობა გამოისახება შემდეგი გამოსახულებით:

$$E_m = \sqrt{2} \sqrt{\left(\frac{U}{k_{np}} + I x'_M \sin\varphi\right)^2 + (I x'_M \cos\varphi)^2} \quad (2)$$

სადაც, U და I -გენერატორის ძაბვა და დენი, k_{np} -გამმართველი ტრანსფორმატორის ტრანსფორმაციის კოეფიციენტი, x'_M - ტრანსფორმატორის ინდუქციური წინაღობა, φ -კუთხე U და I შორის.

(1) და (2) გამოსახულებიდან ერთჯგუფიანი გარდამქმნელის სქემისთვის ვპოულობთ:

$$I_d R_f + \frac{3}{\pi} x I_d + \left(2 - \frac{3\gamma}{2\pi}\right) r I_d + 2\Delta U =$$

$$= \frac{3\sqrt{6}}{\pi} \sqrt{\left(\frac{U}{k_{np}} + I x'_M \sin\varphi\right)^2 + (I x'_M \cos\varphi)^2 \cos\alpha}, \quad (3)$$

სადაც, R_f -ომური წინაღობა აგზნების გრაგნილის და შემაერთებელი კაბელების მუდმივი დენის მხარეზე.

დენი I და $\cos\varphi$ განისაზღვრება სინქრონული გენერატორის მუშაობის რეჟიმით. გენერატორის აგზნების დენი I_d გამოითვლება ძაბვების ვექტორული დიაგრამის საშუალებით. მართვის კუთხე α დამოკიდებულია იმაზე, თუ როგორი საწყისი რეჟიმია მიღებული აგზნების ფორსირების დროს.

ნახ.2. ნაჩვენებია გარდამქმნელის ორჯგუფიანი სქემა ტირისტორული აგზნების სისტემის. აგზნები სისტემის ორჯგუფიანი სქემის შემთხვევაში გრაგნილების ფორსირებული ნაწილი ავლენს მცირე გავლენას გარე მახასიათებელზე. ამიტომ საწყის რეჟიმში

$$E_{mp} = \sqrt{2} \frac{(1-a)U}{k_{np}}, \quad (4)$$

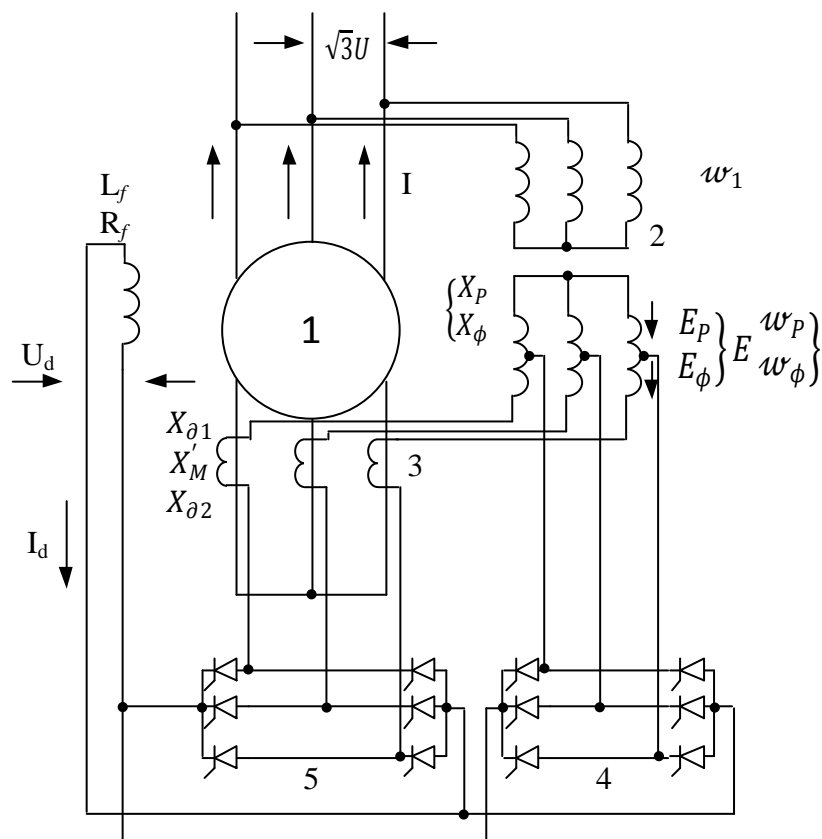
სადაც, $a = \frac{\omega\phi}{\omega}$, $k_{np} = \omega_1/\omega$ ($\omega\phi$ -ხვიათა რიცხვი გრაგნილის ფორსირებული ნაწილის, ω -მეორადი გრაგნილის სრული ხვიათა რიცხვი, ω_1 -გამმართველი ტრანსფორმატორის პირველადი გრაგნილის ხვიათა რიცხვი).

(4)-ის მხედველობაში მიღებით, (3)-ის ნაცვლად გვექნება

$$I_d R_f + \frac{3}{\pi} x_p I_d + \left(2 - \frac{3\gamma p}{2\pi}\right) r_p I_d + 2\Delta U = \frac{3\sqrt{6}}{\pi} \frac{(1-a)U}{k_{np}} \quad (5)$$

(5) განტოლებაში γ - კომუტაციის კუთხე მხოლოდ ერთი მუშა ჯგუფის მუშაობის დროს, X_p და r_p -ინდუქციური და აქტიური წინაღობა მოკლე შერთვის დროს გამმართველი ტრანსფორმატორის პირველადი

და ნაწილი მეორადი გრაგნილის, შემაერთებელი კაბელების გათვალისწინებით.



ნახ.2. გარდამქმნელის ორჯგუფიანი სქემა ტირისტორული აგზნების სისტემის: 1 - სინქრონული გენერატორი; 2 - გამმართველი ტრანსფორმატორი; 3 - მიმდევრობითი ფოლტსამატი ტრანსფორმატორი; 4 - ვენტილების მუშა ჯგუფი; 5 - ვენტილების ფორსირებული ჯგუფი.

თუ საწყის რეჟიმში ადგილი აქვს მუშა და ფორსირებული ჯგუფის ვენტილების მონაცვლეობით მუშაობას, მაშინ:

$$U_d = \frac{3\sqrt{3}}{\pi} E_{mp} \cos \alpha_p + \frac{3}{\pi} E_{m\phi} \left[1 + \cos \left(\alpha_\phi + \gamma_{\phi p} + \frac{\pi}{6} \right) \right] - \frac{3}{\pi} X_p I_d - \left(2 - \frac{3\gamma_p}{2\pi} \right) r_p I_d - 2\Delta U, \quad (6)$$

სადაც, E_{mp} - გამმართველი ტრანსფორმატორის მეორადი გრაგნილის მუშა ნაწილის ელექტრომაგნიტური ძალის (ე.მ.ძ) ამპლიტუდა; $E_{m\phi}$ -მიმდევრობითი ტრანსფორმატორის მეორადი გრაგნილის ე.მ.ძ-ისა და გამმართველი ტრანსფორმატორის გრაგნილის

ფორსირებული ე.მ.ძ-ის გეომეტრიული ჯამის ე.მ.ძ-ის ამპლიტუდა; α_p და α_ϕ - მუშა და ფორსირებული ვენტილთა ჯგუფების მართვის კუთხეები; $\Psi_{\phi P}$ -კომუტაციის კუთხე ფორსირებული ვენტილთა ჯგუფის გადასვლის დროს მუშა ვენტილთა ჯგუფზე. E_{mP} გამოითვლება (4) გამოსახულებით. $E_{m\phi}$ გამოთვლისათვის გამოიყენება გამოსახულება, ანალოგიური (2) გამოსახულებისა, სახელდობრ

$$E_{m\phi} = \sqrt{2} \sqrt{\left(\frac{\alpha U}{k_{np}} + IX'_M \sin \phi\right)^2 + (IX'_M \cos \phi)^2} \quad (7)$$

ფორსირების რეჟიმში იმუშავებს მხოლოდ ერთი ფორსირების ტირისტორების ჯგუფი. ვინაიდან ვოლტსამატი ტრანსფორმატორი ჩართულია მიმდევრობით, გამმართველი ტრანსფორმატორის გრაგნილის მეორადი ფორსირებული ნაწილის გრაგნილთან (ნახ.2), მაშინ (3)-(6) ფორმულები სამართლიანია ორჯგუფიანი სქემებისათვის. მოკლე შერთვის წინაღობა X_T და r_T მიეკუთვნება გამმართველი ტრანსფორმატორის მეორადი სრულ გრაგნილს, შემაერთებელი კაბელების გათვალისწინებით.

უნდა აღინიშნოს, რომ ფარდობა ინდუქციური წინააღობების $q = x_p/x$ ვენტილთა ორი ჯგუფით თვითაგზნების სქემისათვის იქნება მნიშვნელოვნად ნაკლები, ვიდრე დამოუკიდებელი აგზნების სისტემისთვის. ეს აიხსნება მნიშვნელოვანი დამატებითი წინააღობის არსებობით, ფორსირებული ტირისტორების ჯგუფის კომუტაციის წრედებში.

მიღებულია სამფაზა მოკლე შერთვის რეჟიმისთვის განტოლებები. მოკლე შერთვა განხილულია გენერატორის გამომყვანებსა და გადამცემი ხაზის დასაწყისში, რომელიც წარმოადგენს გაცილებით მძიმე პირობას თვითაგზნების სისტემის მუშაობის დროს. თუ დამამშვიდებელი სისტემას გავითვალისწინებთ ერთი ეკვივალენტური კონტურით თითოეულ ღერძში და, გარდა ამისა, მივიღებთ, რომ კონტურების ურთიერთ ინდუქციის ინდუქციური წინააღობა ერთმანეთის

ტოლია, მაშინ სამფაზა მოკლე შერთვის რეჟიმისათვის გადამცემი ხაზზე მივიღებთ

$$\begin{bmatrix} r + (x_d + x_B)P & x_q + x_B & x_{ad}P & x_{ad}P & x_{\alpha q} \\ -(x_d + x_B) & r + (x_q + x_B)P & -x_{ad} & -x_{ad} & x_{\alpha q}P \\ x_{ad}P & & r_f + x_fP & x_{ad}P & \\ x_{ad}P & & x_{\alpha q}P & r_{kd} + x_{kd}P & \\ & x_{\alpha q}P & & & r_{kq} + x_{kq}P \end{bmatrix} X \begin{bmatrix} i_d \\ i_q \\ I_d^* \\ I_{kd} \\ I_{kq} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ U_d^* \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}, \quad (8)$$

სადაც, x_B -ინდუქციური წინაღობა მშ-ის წერტილსა და გენერატორის გამომყვანებს შორის; r -ჯამური წინაღობა სტატორის წრედის მშ-ის წერტილამდე. (8) განტოლების და გარდამქმნელის გარე მახასიათებლების ერთობლივი შესწავლის აუცილებლობასთან დაკავშირებით მოხერხებულია გამოვიყენოთ აგზნების დენის და ძაბვის ფარდობით ერთეულებში სპეციალური აღნიშვნა * ინდექსის საშუალებით.

უნდა აღინიშნოს, რომ, ვინაიდან მშ-ის დროს გამმართველი გადადის მაღალი გამართული ძაბვის მნიშვნელობაზე, მაშინ ორჯგუფიანი სქემაში აღნიშნულ რეჟიმში იმუშავებს მხოლოდ ვენტილების ერთი ფორსირების ჯგუფი. აღნიშნულ პირობებში ერთი და ორჯგუფიანი სქემები იქნება იდენტური. (8) განტოლებების საფუძველზე მიღებულია როგორც პერიოდული, ისე აპერიოდული მდგენელების საანგარიში თანაფარდობები, რომლებიც იძლევიან პროცესების ანალიზის ჩატარების საშუალებას.

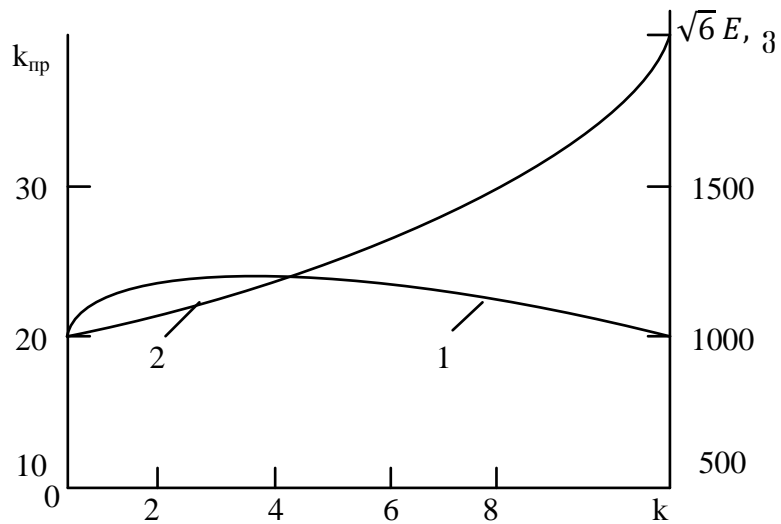
ნაშრომის მეორე თავში ჩატარებულია ჰიდროგენერატორის სტატიკური მძლავრდენისა ტირისტორული აგზნების სისტემაში სამფაზა მოკლე შერთვის რეჟიმის ანალიზი. განხილულია მოკლე შერთვა მიმდევრობითი ვოლტსამატი ტრანსფორმატორის არსებობის დროს და მის გარეშე.

დადგენილია, რომ ვოლტსამატი ტრანსფორმატორის არსებობის დროს აგზნების სისტემის ეფექტურობა სამფაზა მოკლე შერთვის შემთხვევაში გადამცემი ხაზის დასაწყისში მიიღწევა სამი ვენტილის რიგითობითი მუშაობის რეჟიმში, ე.ი. გარე მახასიათებლის ელიფსურ

მონაკვეთზე; განხილულია არასიმეტრიული მოკლე შერთვის დროს თვითაგზნებით ჰიდროგენერატორის მუშაობა, როცა სისტემაში გვაქვს მიმდევრობითი ვოლტსამატი ტრანსფორმატორი. ნაჩვენებია, რომ მიმდევრობითი ვოლტსამატი ტრანსფორმატორი აუმჯობესებს ძაბვების სიმეტრიას ვენტილურ გარდამქმნელებზე. მიღებულია ძირითადი თანაფარდობები არასიმეტრიული მოკლე შერთვის რეჟიმების ანგარიშისათვის. მაგალითისთვის განხილულია მიმდევრობითი ვოლტსამატი ტრანსფორმატორის მოქმედების ეფექტურობა ჰიდროგენერატორის თვითაგზნების ტირისტორული სისტემაში სიმძლავრით 73,3 მკვტ. მივიღოთ, რომ გარდამქმნელს გააჩნია ვენტილების ერთი ჯგუფი, გამმართველის სქემა – სამფაზა ბოგირული, გამმართველ ტრანსფორმატორს გააჩნია შეერთება Δ/Δ , მშ-ის დროს მისი ინდუქციური წინაღობა ტოლია 0,07. მიმდევრობითი ტრანსფორმატორის პირველადი გრანვილის ინდუქციური წინაღობა ჰიდროგენერატორის CBB780/190 – 32ტიპის შეადგენს 0,005 ან პროცენტებში 0,5%. ნომინალური მონაცემები და პარამეტრები ჰიდროგენერატორის შემდეგია:

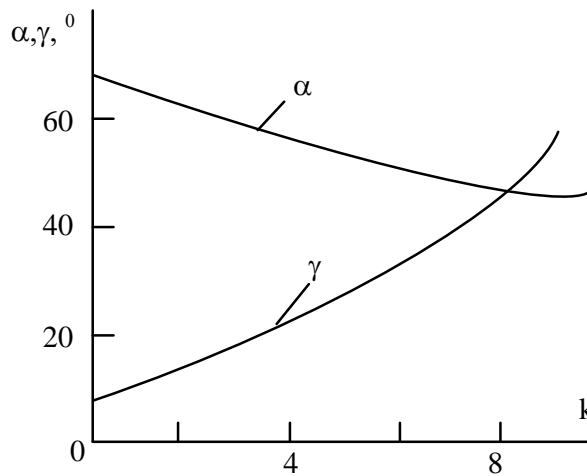
$$U_H = 13,8 \text{ კვ}, I_H = 3,58 \text{ კა}, n_H = 125 \text{ ბრ/წთ}, \cos\varphi_H = 0,85, P_H = 73,3 \text{ ათ.კვტ}, X_d'' = 0,23, X_d' = 0,32, X_d = 0,87.$$

ბაზისური წინაღობა x_δ წარმოადგენს ნომინალური ფაზური ძაბვის მნიშვნელობის ფარდობას სტატორის დენთან. (3) გამოსახულებებიდან განვსაზღვრავთ დამოკიდებულებას k და k_{np} კოეფიციენტებს შორის. ამ შემთხვევაში საწყისი რეჟიმად მიღებულია ნომინალური; ფორსირების ჯერადობა მიღებულია 2-ის ტოლად. მხედველობაში არ მიიღება შემაერთებელი კაბელების ინდუქციური წინაღობა და მიღებულია, რომ $\cos\varphi_H = 0,85$ და $\Delta U = 3\%$. ნახ. 3. ნაჩვენებია დამოკიდებულება გამმართველი ტრანსფორმატორის ტრანსფორმაციის კოეფიციენტის k_{np} და ემმ-ის $\sqrt{6}E$ დამოკიდებულება მიმდევრობითი ვოლტსამატი ტრანსფორმატორის ტრანსფორმაციის კოეფიციენტისაგან k .



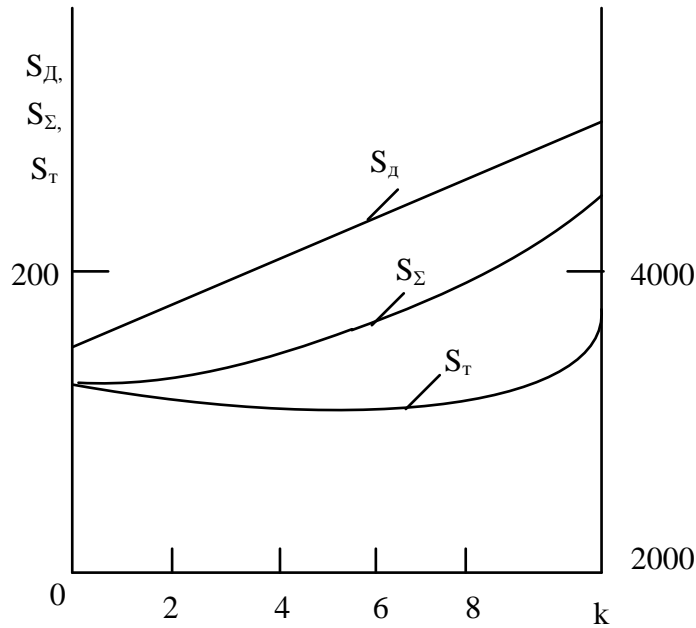
ნახ.3. დამოკიდებულება k_{np} (1) და $\sqrt{6}E$ (2) k -მნიშვნელობისაგან

ნახ. 4-ზე აგებულია დამოკიდებულება მართვის კუთხის α და კომუტაციის კუთხის γ , მიმდევრობითი ვოლტსამატი ტრანსფორმატორის ტრანსფორმაციის კოეფიციენტის k მნიშვნელობისგან.



ნახ.4. მართვის კუთხის α და კომუტაციის კუთხის γ დამოკიდებულება k -ზე

ნახ. 5. აგებულია დამოკიდებულება მიმდევრობითი ვოლტსამატი ტრანსფორმატორის ტიპური სიმძლავრის S_d , გამმართველი ტრანსფორმატორის ტიპური სიმძლავრის S_T და ჯამური სიმძლავრის S_{Σ} დამოკიდებულება მიმდევრობითი ვოლტსამატი ტრანსფორმატორის ტრანსფორმაციის კოეფიციენტის K მნიშვნელობისაგან.



ნახ.5. მიმდევრობითი და გამმართველი ტრანსფორმატორების სიმძლავრეების დამოკიდებულება k -მნიშვნელობისაგან

ნახ.5. მახასიათებლებიდან ჩანს, რომ დამოკიდებულება $S_D = f(k)$ არის წრფივი, $S_\Sigma = f(k)$ დამოკიდებულება სწრაფად იწეებს ზრდას როცა $k > 5 \div 6$, $S_T = f(k)$ დამოკიდებულება მინიმალურ მნიშვნელობას ღებულობს, როცა $k = 5$.

გარდამავალ რეჟიმში ტირისტორული თვითაგზნების სისტემის მოქმედების ეფექტურობა შეფასებულია ფარდობით:

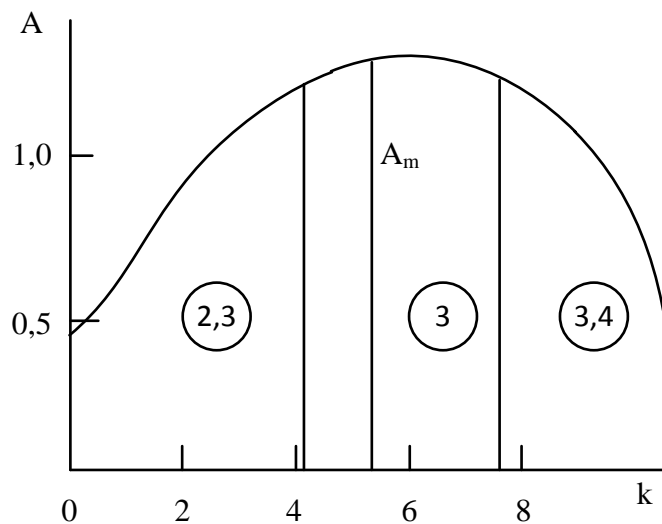
$$A = \frac{P_{10} - P_1}{P_{10}}, \quad (9)$$

სადაც, P_1 -ტირისტორული აგზნების სისტემის რეგულირების კუთხის ($\alpha \neq 0$) დროს გარდამავალი დენების მდგენელების მიღების კოეფიციენტი, P_{10} -ტირისტორული აგზნების სისტემის რეგულირების კუთხის ($\alpha = 0$) დროს გარდამავალი დენების მდგენელების მიღების კოეფიციენტი. თუ $A < 1$, მაშინ ის გვიჩვენებს, აგზნების გრაგნილის წინააღმდეგობაში სიმძლავრის საერთო დანაკარგებიდან, რა ნაწილი იფარება გარდამქმნელის გარდამავალი რეჟიმის დროს. გარდამავალი დენები ამ შემთხვევაში იქნება მიღებადი. თუ $A = 1$, მაშინ ყველა დანაკარგები აგზნების გრაგნილში დაიფარება გარდამქმნელით. გარდამავალი დენი ამ შემთხვევაში იქნება უცვლელი (იგულისხმება, რომ $\Delta U \approx 0$). თუ

$A > 1$, მაშინ ტირისტორული აგზნების სისტემა არა მხოლოდ დაფარავს დანაკარგებს აგზნების გრაფილში, არამედ გაზრდის გარდამავალ დენებს.

ნახ. 6-ზე ნაჩვენებია დამოკიდებულება გარდამავალ რეჟიმში ტირისტორული თვითაგზნების სისტემის მოქმედების ეფექტურობის კოეფიციენტის A მიდევრობითი ვოლტსამატი ტრანსფორმატორის ტრანსფორმაციის კოეფიციენტის k მნიშვნელობისაგან, რომლისგანაც შეიძლება გაკეთდეს მნიშვნელოვანი დასკვნა:

$A = f(k)$, რომლისგანაც შეიძლება გაკეთდეს მნიშვნელოვანი დასკვნა:



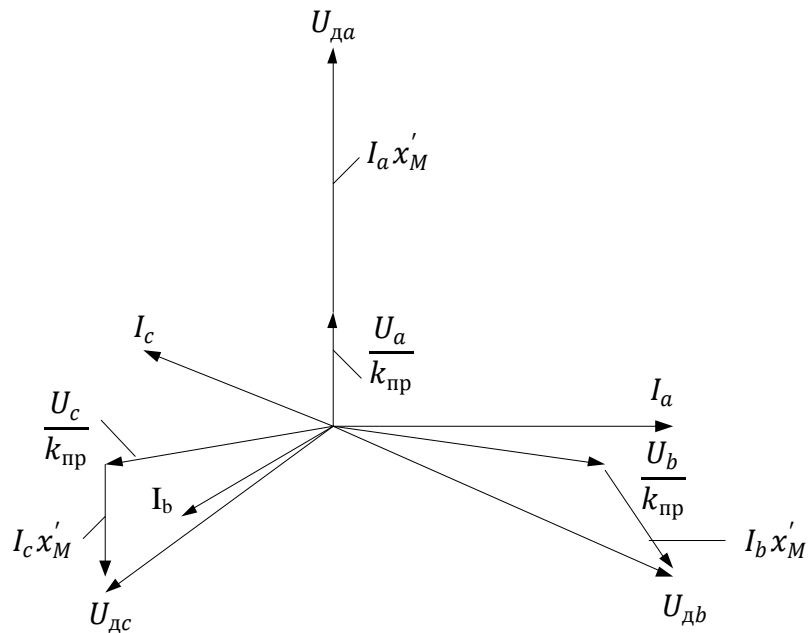
ნახ.6. თვითაგზნების სისტემის მოქმედების ეფექტურობის კოეფიციენტის A დამოკიდებულება (სამფაზა მშ-ის რეჟიმში გადამცემი ხაზის დასაწყისში), მიმდევრობითი ვოლტსამატი ტრანსფორმატორის ტრანსფორმაციის კოეფიციენტის k მნიშვნელობისაგან

1) აგზნების სისტემის ეფექტურობა სამფაზა მშ-ის დროს გადამცემი ხაზის დასაწყისში მიიღწევა სამი ვენტილის რიგითობითი მუშაობის რეჟიმში, ე.ი. გარე მახასიათებლის ელიფსურ მონაკვეთზე; მაქსიმალური მნიშვნელობას A_m ადგილი აქვს განსახილველ კონკრეტულ შემთხვევაში როცა $k = 5,5$;

2) ზღვრულ რეჟიმში 2,3, როცა $k = 4,24$ და რეჟიმში, რომელსაც შეესაბამება A_m , ეფექტურობის სხვაობა მათ შორის, მიიღება შედარებით უმნიშვნელო. ამიტომ ზღვრული რეჟიმი 2,3 კომუტაციის

კუთხით 60° იძლევა საშუალებას გვეჩვენოს აგზნების სისტემის მაღალი ეფექტურობა.

მიღებულია ძირითადი თანაფარდობები არასიმეტრიული მოკლე შერთვის რეჟიმების ანგარიშისათვის. შესწავლილია ფორსირებისა და განაგზების პროცესი. ნაჩვენებია, რომ გენერატორის დინამიკური მდგრადობის ამალღებისათვის აუცილებელია აგზნების ფორსირება არა მხოლოდ მოკლე შერთვის დროს, არამედ აგრეთვე მისი გამორთვის შემდეგ, როცა მიმდინარეობს θ კუთხის ზრდა. მიღებული განტოლებების შესაბამისად აგებულია ძაბვებისა და დენების ვექტორული დიაგრამა (ნახ.7).



ნახ.7. გადამცემი ხაზის დასაწყისში ორფაზა მშ-ის დროს მიწაზე ძაბვებისა და დენების ვექტორული დიაგრამა

ანალოგიურად შეიძლება აიგოს ძაბვებისა და დენების ვექტორული დიაგრამა სხვა სახის დაზიანებისათვის.

სამუშაოში განხილულია თვითაგზნება მიმდევრობითი ვოლტსამატი ტრანსფორმატორის გამოყენების გარეშე, როგორც გამარტივებული აგზნების სისტემა.

თვითაგზნების სისტემა ვოლტსამატი ტრანსფორმატორის გარეშე ხასიათდება შემდეგი თვისებებით:

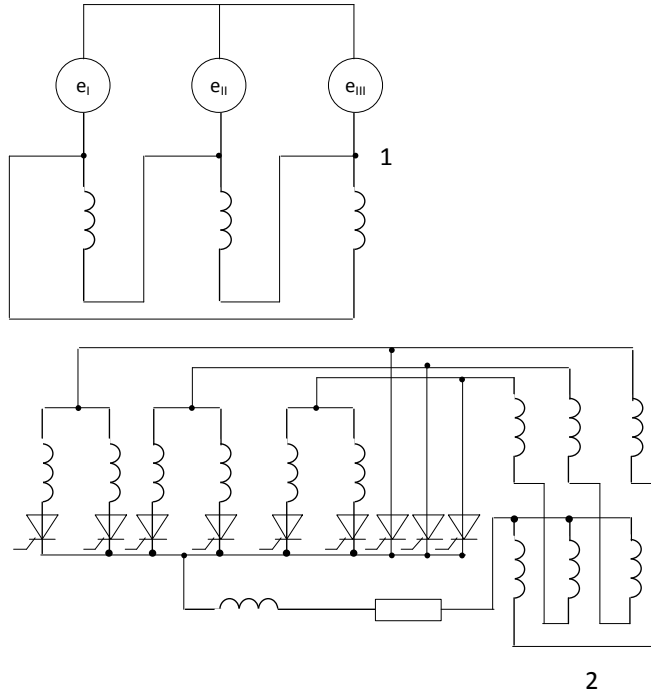
1. გენერატორის დინამიკური მდგრადობის გარკვეული სიდიდით დადაბლება;

2. ხანგრძლივი სამფაზა მშ-ის დროს გენერატორთან ახლოს, სწრაფი მილევა დენების, ამიტომ ძირითადი დაცვის მტყუნების შემთხვევაში და სტატორის გრაგნილში დენების შემცირების დროს, შეიძლება არ იმოქმედოს მაქსიმალური დენური დაცვამ, რომელსაც გააჩნია დიდი დაყოვნების დრო. გენერატორის დინამიკური მდგრადობის გარკვეული შემცირება მიმდინარეობს იმასთან დაკავშირებით, რომ უეცრად მცირდება აგზნების ძაბვა, უეცარი სამფაზა მშ-ის შემდეგ.

შესწავლილია ფორსირებისა და განაგზნების პროცესი. ნაჩვენებია, რომ გენერატორის დინამიკური მდგრადობის ამადლებისათვის აუცილებელია აგზნების ფორსირება არა მხოლოდ მოკლე შერთვის დროს, არამედ აგრეთვე მისი გამორთვის შემდეგ, როცა მიმდინარეობს θ კუთხის ზრდა.

მესამე თავში მოცემულია ჰიდროგენერატორის სტატიკური მძლავრდენისა ტირისტორული აგზნების სისტემაში ელექტრომაგნიტური პროცესები და მათი განსაკუთრებულობა. განხილულია აგზნების სხვადასხვა სქემები, როგორცაა: აგზნება გაწონასწორებული მართვადი სქემით; სამფაზა გამმართველი ნულოვანი ვენტილებით; არასიმეტრიული მართვის სქემა; თვითაგზნების ტირისტორული სისტემა ნულოვანი ვენტილებით და ექვსფაზა სქემით სამფაზა გამათანაბრებელი რეაქტორით; სამფაზა ბოგირული სქემა ორი ნულოვანი ვენტილით. მოცემული სქემებისათვის მიღებულია ძირითადი თანაფარდობები ელექტრომაგნიტური პროცესების ანგარიშისათვის და ჩატარებულია მათი ანალიზი. ამავე თავში შესწავლილია წრედის ცვლადი მდგენელების გავლენა ცვლადი დენის ძაბვაზე. დადგენილია, რომ ექვსფაზა სქემაში სამფაზა გამათანაბრებელი რეაქტორით და მის გარეშე დენის ცვლადი მდგენელის გავლენა გამართული ძაბვის საშუალო მნიშვნელობაზე მიიღება მეტი, ვიდრე სამფაზა ბოგირული სქემაში და აღწევს $12\div 15\%$.

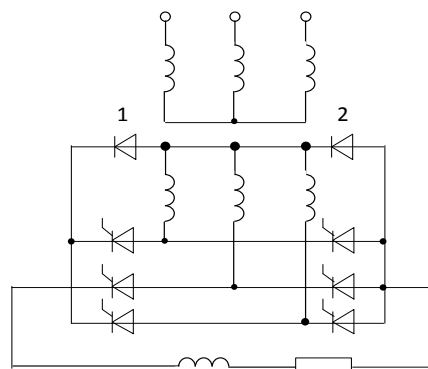
ნახ.8. მოცემულია თვითაგზნების ტირისტორული სისტემა ნულოვანი ვენტილებით და ექვსფაზა სქემით სამფაზა გამათანაბრებელი რეაქტორით.



ნახ.8. თვითაგზნების ტირისტორული სისტემა ნულოვანი ვენტილებით და ექვსფაზა სქემით სამფაზა გამათანაბრებელი რეაქტორით:
1-ექვსფაზა ტრანსფორმატორი, 2-სამფაზა გამათანაბრებელი რეაქტორი

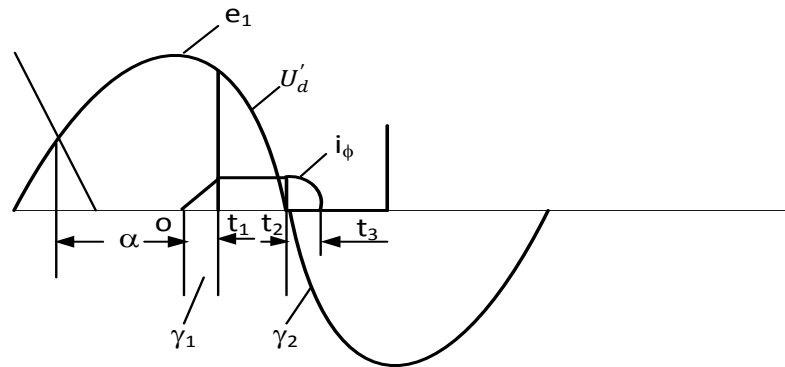
ნახ. 9. მოცემულია სამფაზა ბოგირული სქემა ორი ნულოვანი ვენტილით.

ა)



ნახ.9. სამფაზა ბოგირული სქემა ორი ნულოვანი ვენტილით

ბ)



ნახ.10. ფაზური დენი და გამართული ძაბვა სამფაზა ბოგირულ სქემაში ორი ნულოვანი ვენტილით

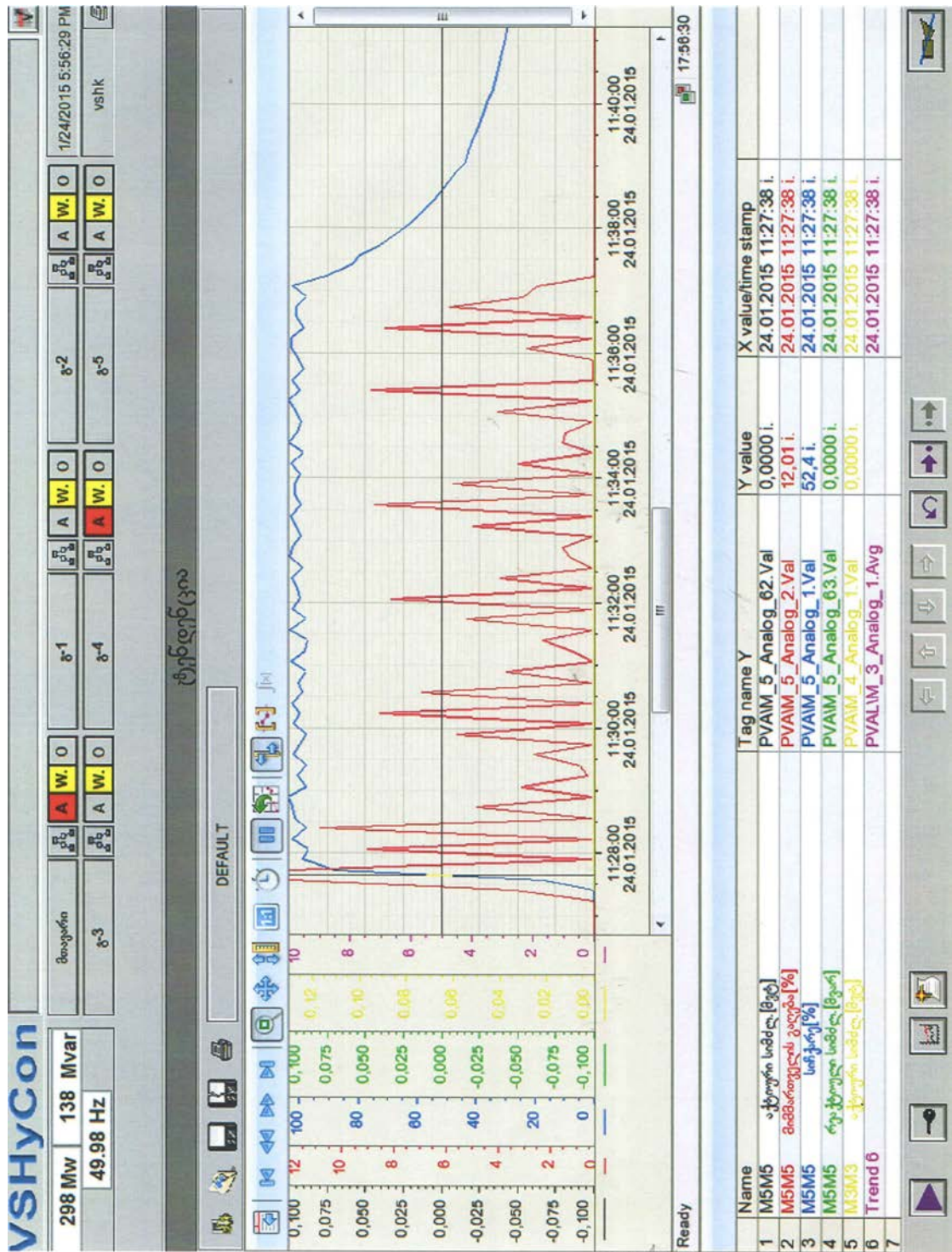
სამუშაოში ნაჩვენებია, რომ ტირისტორული აგზნების სისტემაში ნულოვანი ვენტის გამოყენება ახდენს მთელი რიგი უწყისივრობათა აცილებას, ხარისხოვნად აუმჯობესებს ტირისტორული აგზნების სისტემას.

- ნულოვანი ვენტის გამოყენება ზრდის რეგულირების კუთხის α ცვლილების ზღვარს $\alpha_m = 150^\circ$ -მდე ნაცვლად $\alpha_m = 90^\circ$ სქემაში ნულოვანი ვენტის გარეშე. ამგვარად ფართოვდება გამართული ძაბვის საშუალო მნიშვნელობის რეგულირების დიაპაზონი.
- ფაზის ტირისტორის მტყუნების შემთხვევაში ნულოვანი ვენტილი უზრუნველყოფს ჰიდროგენერატორის ნორმალურ მუშაობას. გამართული ძაბვის საშუალო მნიშვნელობა ფაზის ტირისტორის მტყუნების შემთხვევაში მცირდება უმნიშვნელოდ - 10÷20%.
- ამცირებს გარე მახასიათებლის დახრას.
- ღრმა რეგულირების კუთხის დროს $\alpha > 80^\circ$; ამცირებს გამართული ძაბვის ჰარმონიკების სიდიდეს და შესაბამისად პულსაციებს ჰიდროგენერატორის აგზნების დენში, როცა ნულოვანი ვენტის გამოყენების გარეშე გააჩნია უკუ სურათი; აუმჯობესებს სიმძლავრის კოეფიციენტს $\cos\varphi$;

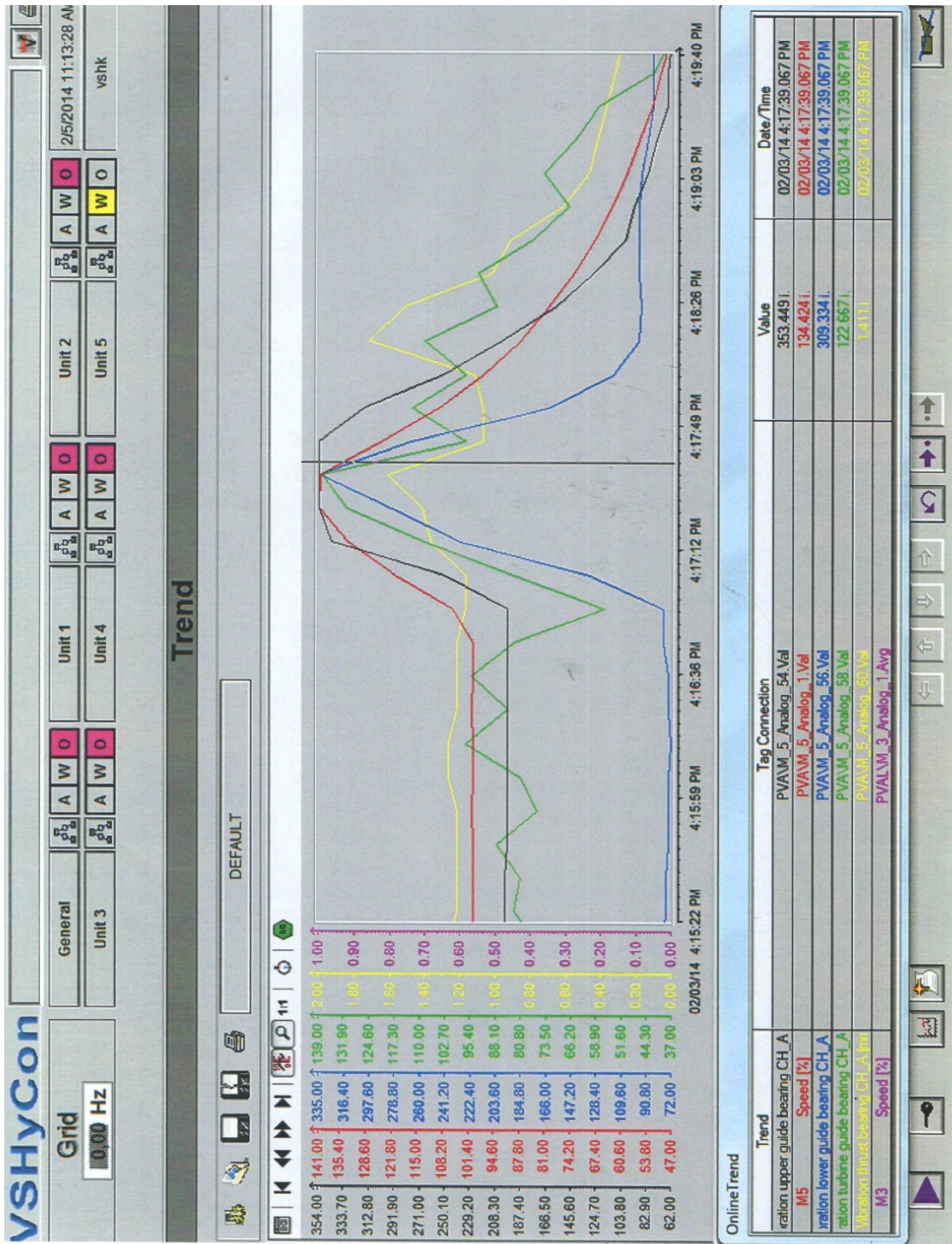
- იძლევა საშუალებას იმუშაოს ღრმა რეგულირების კუთხით და შესაბამისად უზრუნველყოს ფორსირების რეჟიმი ვენტილაციის მეორე ჯგუფის გამოყენების გარეშე.

მეოთხე თავში მოცემულია რეგულირებადი ჰიდროგენერატორში გარდამავალი ელექტრომაგნიტური პროცესები. გამოკვეთილია ჰიდროგენერატორში რეგულირების ამოცანები. მიღებულია რეგულირებადი ჰიდროგენერატორის განტოლებები. დადგენილია რეგულირების სისტემის გავლენა ჰიდროგენერატორის დინამიკურ თვისებაზე. შედგენილია ჰიდროგენერატორის აგზნების რეგულირების სისტემის განზოგადოებული სტრუქტურული სქემა. განხილულია ჰიდროგენერატორის მუშაობა არასიმეტრიული დატვირთვის დროს. მოცემულია ჰიდროგენერატორის ტირისტორული აგზნების სისტემის წრედებში გადამეტაბვები. დამუშავებულია დაცვის, სქემა გადამეტაბვისგან, განპირობებული კომუტაციური პროცესებით გარდამქმნელში.

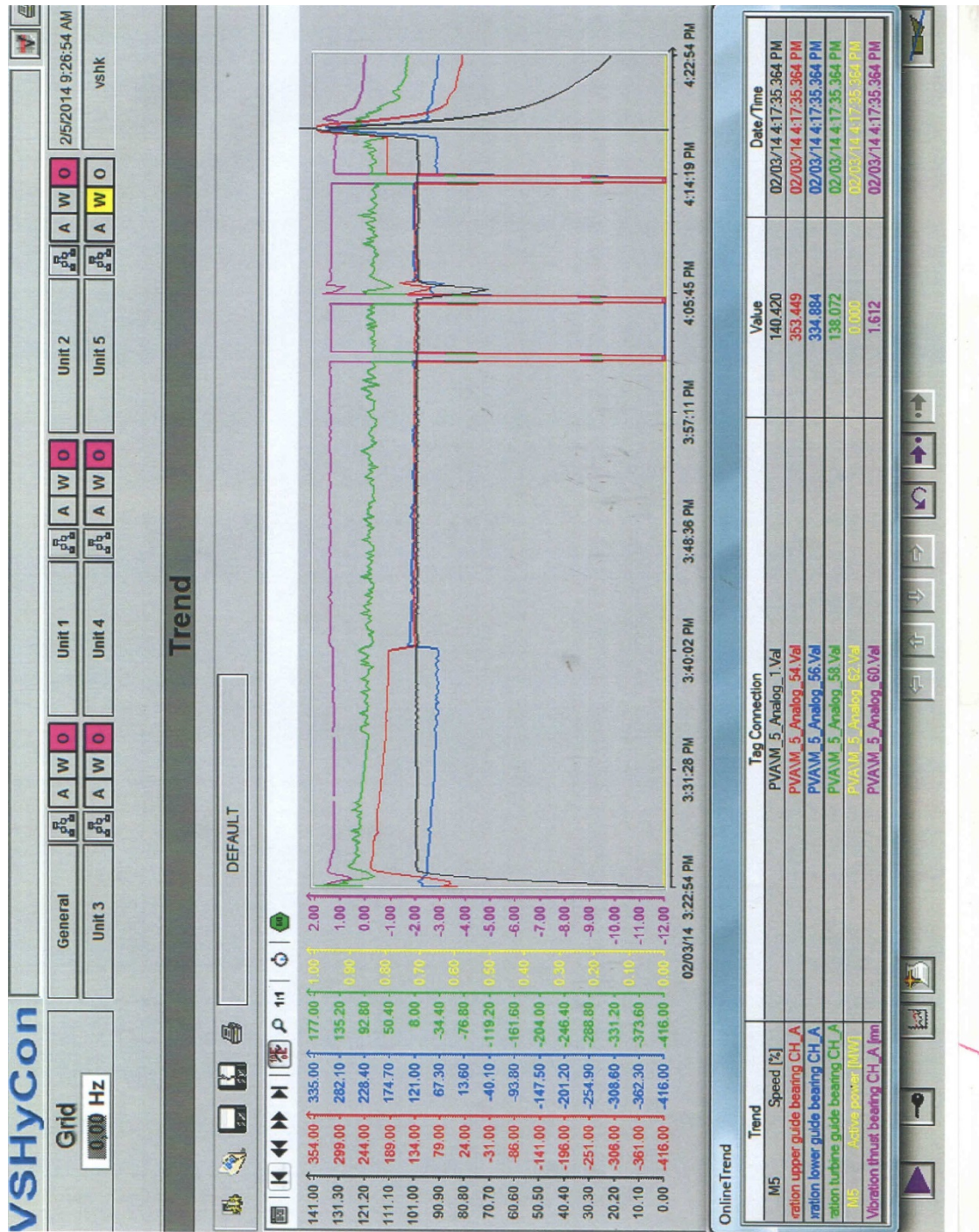
მეხუთე თავში მოცემულია ენგურჰესის 306 მგვა სიმძლავრის ჰიდროგენერატორის და ტირისტორული აგზნების მოწყობილობების ტექნიკური პარამეტრები და რეგულირების მახასიათებლები. მიკროპროცესორების გამოყენება ენგურჰესის ჰიდროგენერატორების მართვისა და რეგულირების მოწყობილობებში. მოცემულია ჰიდროგენერატორის ტირისტორული აგზნების მოწყობილობებში ელექტრომაგნიტური პროცესების ექსპერიმენტული ოსცილოგრამები.



ნახ.11. შიდროგენერატორის რეჟიმების ელექტრომაგნიტური პარამეტრების ცვლილების ოსცილოგრამები დროში



ნახ.12. ჰიდროგენერატორის რეჟიმების ელექტრომაგნიტური პარამეტრების ცვლილების ოსცილოგრამები ღრძში



ნახ.13. ჰიდროგენერატორის რეჟიმების ელექტრომაგნიტური პარამეტრების ცვლილების ოსცილოგრამები დროში

დასკვნა

1. დამუშავებულია ჰიდროგენერატორის ტირისტორული აგზნების სისტემაში ელექტრომაგნიტური პროცესების საანგარიშო მათემატიკური მოდელი, როგორც სიმეტრიული სამფაზა მოკლე შერთვის ისე არასიმეტრიული მოკლე შერთვის დროს.

2. განხილულია ჰიდროგენერატორის ინდუქციური წინაღობის გავლენა ტირისტორული აგზნების სისტემის მუშაობაზე და მოცემულია მეთოდი გარე მახასიათებლის აგების. ნაჩვენებია, რომ გარე მახასიათებელი წარმოადგენს არაწრფივ ფუნქციას გენერატორის პარამეტრების, რეგულირების კუთხის და კომუტაციის კუთხის.

3. გამოკვლეულია ჰიდროგენერატორის ტირისტორული აგზნების სისტემის სხვადასხვა სქემები. მიღებული ფორმულების საფუძველზე აგებულია რეგულირების კუთხის და კომუტაციის კუთხის ცვლილების არე (α, γ) კოორდინატებში. აღნიშნული დიაგრამები ნათელ წარმოდგენას იძლევიან ტირისტორული აგზნების სისტემის ყველა რეჟიმის მუშაობაზე, რეგულირების კუთხის, კომუტაციის კუთხის და ტირისტორის მუშაობის ხანგრძლივობაზე.

4. ნაჩვენებია, რომ ტირისტორული აგზნების სისტემაში კომუტაციის დროს მიმდინარეობს არასიმეტრიული მოკლე შერთვა გამმართველი ტრანსფორმატორის მომჭერებზე. ამასთან დაკავშირებით ანგარიშისთვის გამოყენებულია სიმეტრიული მდგენელთა მეთოდი და მოცემულია სრული ანალიზი კომუტაციური პროცესების.

5. გამოკვლეულია ელექტრომაგნიტური პროცესები ტირისტორული აგზნების სისტემის სამფაზა გამმართველის სქემაში ნულოვანი ვენტილით თანაც ანოდური დენის ფორმის განსაზღვრა განხორციელდა გამმართველი ტრანსფორმატორზე ორფაზა მოკლე შერთვის განხილვის საფუძველზე კომუტაციის დროს. მიღებულია ფორმულები ძირითადი ჰარმონიკის და ანოდური დენის მაღალი რიგის ჰარმონიკების ამპლიტუდისა და ფაზის მნიშვნელობების განსაზღვრისათვის. მიღებული ფორმულებით გაანგარიშებულია კომუტაციის კოეფიციენტის მნიშვნელობა k_k სხვადასხვა რეგულირების კუთხის α მნიშვნელობების

დროს და აგებულია მრუდეები. ჩატარებული ანალიზის საფუძველზე შეიძლება განისაზღვროს ანოდური დენის ჰარმონიკების ამპლიტუდა და ფაზა ნორმალურ და ავარიულ რეჟიმებში, როცა ადგილი აქვს ტირისტორების მტყუნებას.

6. გამოკვლეულია ელექტრომაგნიტური პროცესები ტირისტორული აგზნების სისტემის სამფაზა ბოგირული გამმართველის სქემაში ნულოვანი ვენტილებით. მიღებული ფორმულების საფუძველზე აგებულია რეგულირების კუთხის α და კომუტაციის კუთხის γ ცვლილების არე ტირისტორული აგზნების სისტემის სხვადასხვა რეჟიმებში მუშაობის დროს.

7. ნაჩვენებია, რომ ტირისტორული აგზნების სისტემაში ნულოვანი ვენტილის გამოყენება ახდენს მთელი რიგი უწყესიერობათა აცილებას, ხარისხვნად აუმჯობესებს ტირისტორული აგზნების სისტემას.

- ნულოვანი ვენტილის გამოყენება ზრდის რეგულირების კუთხის α ცვლილების ზღვარს $\alpha_m = 150^\circ$ -მდე, ნაცვლად $\alpha_m = 90^\circ$ სქემაში ნულოვანი ვენტილის გარეშე. ამგვარად ფართოვდება გამართული ძაბვის საშუალო მნიშვნელობის რეგულირების დიაპაზონი.
- ფაზის ტირისტორის მტყუნების შემთხვევაში ნულოვანი ვენტილი უზრუნველყოფს ჰიდროგენერატორის ნორმალურ მუშაობას. გამართული ძაბვის საშუალო მნიშვნელობა ფაზის მცირდება უმნიშვნელოდ - 10÷20%.
- ამცირებს გარე მახასიათებლის დახრას.
- ღრმა რეგულირების კუთხის დროს $\alpha > 80^\circ$: ამცირებს გამართული ძაბვის ჰარმონიკების სიდიდეს და შესაბამისად პულსაციებს ჰიდროგენერატორის აგზნების დენში, როცა ნულოვანი ვენტილის გამოყენების გარეშე გააჩნია უკუ სურათი. აუმჯობესებს სიმძლავრის კოეფიციენტს $\cos\varphi$.
- იძლევა საშუალებას იმუშაოს ღრმა რეგულირების კუთხით და შესაბამისად უზრუნველყოს ფორსირების რეჟიმი ვენტილების მეორე ჯგუფის გამოყენების გარეშე.

8. მოცემულია ენგურჰესის 306 მგვა სიმძლავრის ჰიდროგენერატორის ტირისტორული აგზნების მოწყობილობებში ელექტრომაგნიტური პროცესების ექსპერიმენტალური ოსცილოგრამები.

დისერტაციის თემაზე გამოქვეყნებული შრომები

1. კოსრეიძე თ., მებონია ლ./ რეგულირებადი ჰიდროგენერატორში გარდამავალი ელექტრომაგნიტური პროცესები. ენერჯია. 2016. №4(80), გვ. 49-54.

2. კოსრეიძე თ., მებონია ლ. ჰიდროგენერატორის მუშაობა არასიმეტრიული დატვირთვის დროს. ენერჯია. 2016. №4(80), გვ. 55-58.

3. მებონია ლ. ჰიდროგენერატორის ტირისტორული აგზნების სისტემაში ელექტრომაგნიტური პროცესების მათემატიკური მოდელი. III საერთაშორისო სამეცნიერო კონფერენცია. ენერჯეტიკა რეგიონული პრობლემები და განვითარების პერსპექტივები. მოსხენებების კრებული. ქუთაისი, საქართველო. 2015. გვ. 63-66.

4. კოსრეიძე თ., მებონია ლ. ჰიდროგენერატორის ტირისტორული აგზნების სისტემის წრედებში გადამეტაბვები. ინტელექტუალი, 2016. №32, გვ. 133-137.

Summary

High efficiency of synchronous operation of machines in energy system is closely related to reliable work of excitation system.

Nowadays, lots of synchronous heat and hydro generators are equipped with self-excitation digital systems. In the self-excitation systems of powerful synchronous generators are used high-current thyristor converters, in which the rated currents are provided with parallel connection of several valve branches, which are usually executed by bridge circuit. According to requirements imposed to excitation system of synchronous generators, self-excitation system has to provide all modes of their operation, including power boost (voltage forcing) at leads of synchronous generator, where short circuit takes place in energy system.

Electromagnetic processes hold a special place among many complex phenomena taking place in excitation system.

Mentioned processes are considered in the thesis for static thyristor self-excitation system and include steady and transitional states. Use of microprocessor management in modern self-excitation systems creates conditions for development of effective and more functional algorithm for control of high-current thyristor converter, which foresees real electromagnetic and heat modes in converters' operation in order to provide generator forcing while failure of parallel valves in branches.

In the first chapter we see mathematical model of electromagnetic processes in high-current thyristor excitation system of hydrogenerator. There is the static high-current thyristor excitation system of hydrogenerator. Peculiarities of excitation system operation are considered. Electromagnetic processes in thyristor excitation system first of all are considered in rectifying systems. First is considered the excitation system with bridge circuit of one-group, and then two-group converter. Excitation in normal mode is identified by means of vector diagram of external rectifier characteristic and voltages. Basic ratios are obtained both for one-group and two-group converters that makes possible carrying out of analysis of electromagnetic processes. There are obtained equations for three-phase short circuit mode. Short circuit is considered in generator leads and in the beginning of transmission line that is much more complex condition during operation of self-excitation system. That is why is expedient to explore transition process for mentioned boundary case. There are obtained design ratios both for periodical and non-periodical components that makes possible carrying out of process analysis.

In the second chapter of the work we observe the analysis of three-phase short circuit mode in static high-current thyristor excitation system of generator. Short circuit is considered in case of existence of series step-up (boost) transformer and without it.

It is established that when step-up (boost) transformer is available the efficiency of excitation system in case of three-phase short circuit in the beginning

of transmission line is attained in alternate operation mode of three valves, i.e. at elliptic segment of external characteristic. There is considered the operation of hydrogenerator with self-excitation during non-symmetric short circuit, when we have series step-up transformer in the system. It is shown that series step-up transformer improves voltage symmetry of valve converter. Basic ratios are obtained for calculation of non-symmetric short circuit modes. Processes of forcing and de-excitation are studied. It is shown that excitation forcing is compulsorily for enhancement of transient (dynamic) stability of generator not only during short circuit, but also after its switching-out, when θ angle gets bigger.

The third chapter provides electromagnetic processes in the static high-current thyristor excitation system of generator, as well as their peculiarity, various excitation systems are considered, such as: excitation via balanced controllable circuit; three-phase rectifier with zero valves; non-symmetric control circuit; self-excitation thyristor system with zero valves and with six-phase circuit and three-phase balancing reactor; three-phase bridge circuit with two zero valves. Basic ratios for given circuit are obtained for calculation of electromagnetic processes and their analysis is carried out. In the same chapter is studied the effect of alternating circuit component on ac current voltage (volts alternating current). It is established that in six-phase circuit with three-phase balancing reactor, without it the effect of alternating current component on average value of rectified voltage is more than in three-phase bridge circuit and it reaches 12÷15%.

In the fourth chapter of the work are given transition electromagnetic processes controlled in hydrogenerator. Issues of hydrogenerator control (regulation) are singled out. Equations for controlled hydrogenerator are obtained. Effect of control system on dynamic properties of hydrogenerator is established. Generalized structural chart of hydrogenerator excitation control system is composed. Operation of hydrogenerator in case of non-symmetric load is considered. Excess voltages in thyristor excitation system circuits of hydrogenerator are studied. There is given a circuit of protection from the excess voltage caused by commutation processes in converters.

In the fifth chapter of the work there are given characteristics of control and regulation of 306 MgWt generator of Enguri HPP; devices for hydrogenerator and thyristor excitation system and their parameters; use of microprocessors in control and regulation devices of Enguri HPP hydrogenerator. Experimental oscillograms of electromagnetic processes in thyristor excitation devices of hydrogenerator are given.