

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

ლევან მებონია

ენერჯისის ჰიდროგენერატორის ტირისტორული აგზნების სისტემაში
ელექტრომაგნიტური პროცესები

წარმოდგენილია დოქტორის აკადემიური ხარისხის მოსაპოვებლად

სადოქტორო პროგრამა: „ენერგეტიკა და ელექტროინჟინერია“
შიფრი: 0405

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი
თბილისი, 0175, საქართველო
მარტი, 2018 წელი

საავტორო უფლება © 2018 წელი, ლევან მებონია
თბილისი
2018 წელი

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი
ენერგეტიკისა და ტელეკომუნიკაციის ფაკულტეტი

ჩვენ, ხელისმომწერი ვადასტურებთ, რომ გავეცანით ლევან მებონიას მიერ შესრულებულ სადისერტაციო ნაშრომს დასახელებით: „ენერჯისის ჰიდროგენერატორის ტირისტორული აგზნების სისტემაში ელექტრომაგნიტური პროცესები“ და ვაძლევთ რეკომენდაციას საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის ენერგეტიკისა და ტელეკომუნიკაციის ფაკულტეტის სადისერტაციო საბჭოში მის განხილვას დოქტორის აკადემიური ხარისხის მოსაპოვებლად.

მარტი, 2018 წელი

ხელმძღვანელი ----- პროფესორი თამაზ კოსრეიძე

რეცენზენტი -----

რეცენზენტი -----

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი
2017 წელი

ავტორი: მებონია ლევან

თემის დასახელება: ენგურჰესის ჰიდროგენერატორის ტირისტორული აგზნების სისტემაში ელექტრომაგნიტური პროცესები

ფაკულტეტი: ენერგეტიკისა და ტელეკომუნიკაციის

ხარისხი: აკადემიური დოქტორი

სხდომა ჩატარდა: მარტი, 2018 წ.

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

ავტორის ხელმოწერა

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

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

რეზიუმე

ენერგოსისტემაში სინქრონული მანქანების მუშაობის ეფექტურობა მჭიდროდაა დაკავშირებული აგზნების სისტემის საიმედო მუშაობასთან.

თანამედროვე სინქრონული თბო და ჰიდროგენერატორები აღჭურვილია თვითაგზნების ციფრული სისტემებით. მძლავრი სინქრონული გენერატორების თვითაგზნების სისტემებში გამოიყენება მძლავრდენისა ტირისტორული გარდამქმნელები, რომელშიც ნორმირებული დენები უზრუნველყოფილია რამოდენიმე ვენტილური შტოების პარალელური შეერთებით, შესრულებული ბოგირული სქემით. სინქრონული გენერატორების აგზნების სისტემასთან წაყენებული მოთხოვნების შესაბამისად, თვითაგზნების სისტემამ უნდა უზრუნველყოს მათი მუშაობის ყველა რეჟიმი, მათ შორის სინქრონული გენერატორის გამომყვანებზე ძაბვის ფორსირების ჩათვლით, როცა ადგილი აქვს მოკლე შერთვას ენერგოსისტემაში.

აგზნების სისტემაში მრავალ რთულ მოვლენებს შორის განსაკუთრებული ადგილი უკავია ელექტრომაგნიტურ პროცესებს. სადისერტაციო სამუშაოში აღნიშნული პროცესები განხილულია სტატიკური ტირისტორული თვითაგზნების სისტემისათვის და მოიცავს დამყარებულ და გარდამავალ რეჟიმებს. თანამედროვე თვითაგზნების სისტემებში მიკროპროცესორული მართვის გამოყენება ქმნის პირობას მძლავრდენისა ტირისტორული გარდამქმნელის მართვის ეფექტური აღგორითმის დამუშავებისა, რომელიც ითვალისწინებს რეალურ ელექტრომაგნიტურ და თბურ რეჟიმებს გარდამქმნელის მუშაობაში, უზრუნველყოფს გენერატორის ფორსირებას, როცა ადგილი აქვს შტოებში პარალელური ვენტილების მტყუნებას.

ნაშრომის პირველ თავში წარმოდგენილია ჰიდროგენერატორის მძლავრდენისა ტირისტორული აგზნების სისტემაში ელექტრომაგნიტური პროცესების მათემატიკური მოდელი. მოცემულია ჰიდროგენერატორის სტატიკური მძლავრდენისა ტირისტორული აგზნების სისტემა.

განხილულია აგზნების სისტემის მუშაობის თავისებურებანი. ელექტრომაგნიტური პროცესები ტირისტორული აგზნების სისტემაში განიხილება გამმართველ სისტემებში ჯერ 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 გარდამქმნელებისთვის, 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 პერიოდული და

აპერიოდული მდგენელების საანგარიშო 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 გარდამქმნელზე. მიღებულია ძირითადი თანაფარდობები არასიმეტრიული მოკლე შერთვის რეჟიმების ანგარიშისათვის.

შესწავლილია ფორსირებისა და განაგზნების პროცესი. ნაჩვენებია, რომ გენერატორის დინამიკური მდგრადობის ამაღლებისათვის აუცილებელია აგზნების ფორსირება არა მხოლოდ მოკლე შერთვის დროს, არამედ მისი გამორთვის შემდეგაც, როცა მიმდინარეობს მ კუთხის ზრდა.

ნაშრომის მესამე თავში მოცემულია ჰიდროგენერატორის სტატიკური მძლავრდენისა ტირისტორული აგზნების სისტემაში ელექტრომაგნიტური პროცესები და მათი განსაკუთრებულობა. განხილულია აგზნების სხვადასხვა სქემები: აგზნება გაწონასწორებული მართვადი სქემით, ნულოვანი ვენტილებით და სამფაზა გამმართველით, 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, მის გარეშე დენის ცვლადი მდგენელის გავლენა გამართული ძაბვის საშუალო მნიშვნელობაზე მიიღება მეტი, ვიდრე სამფაზა ბოგირული სქემაში და აღწევს $12-15\%$.

ნაშრომის მეოთხე თავში მოცემულია რეგულირებად ჰიდროგენერატორში გარდამავალი ელექტრომაგნიტური პროცესები. გამოკვეთილია ჰიდროგენერატორში რეგულირების ამოცანები. მიღებულია რეგულირებადი ჰიდროგენერატორის განტოლებები. დადგენილია რეგულირების სისტემის გავლენა ჰიდროგენერატორის დინამიკურ თვისებაზე. შედგენილია აგზნების რეგულირების განზოგადოებული სტრუქტურული სქემა. განხილულია ჰიდროგენერატორის მუშაობა არასიმეტრიული დატვირთვის დროს. მოცემულია ჰიდროგენერატორის ტირისტორული აგზნების სისტემის

წრედებში გადამეტებადები, განპირობებული კომუტაციური პროცესებით მოცემულია სქემა გადამეტებისგან დაცვის.

ნაშრომის მეხუთე თავში მოცემულია ენგურჰესის 306 მგვა სიმძლავრის ჰიდროგენერატორის მართვისა და რეგულირების მახასიათებლები. ჰიდროგენერატორის და ტირისტორული აგზნების პარამეტრები. მიკროპროცესორების გამოყენება ენგურჰესის ჰიდროგენერატორების მართვისა და რეგულირების მოწყობილობებში. მოცემულია ჰიდროგენერატორის რეჟიმების ელექტრომაგნიტური პარამეტრების ცვლილების ოსცილოგრამები დროში.

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.

შინაარსი

შესავალი.....	17
ლიტერატურული მიმოხილვა.....	20
შედეგები და მათი განსჯა.....	25
თავი I. ჰიდროგენერატორის მძლავრდენისა ტირისტორული აგზნების სისტემაში ელექტრომაგნიტური პროცესების მათემატიკური მოდელი.....	25
1.1. ჰიდროგენერატორის სტატიკური მძლავრდენისა ტირისტორული აგზნების სისტემა.....	25
1.2. სტატიკური მძლავრდენისა ტირისტორული აგზნების სისტემაში ელექტრომაგნიტური პროცესების მათემატიკური მოდელი.....	27
1.3. სამფაზა მოკლე შერთვის რეჟიმი.....	33
თავი II. ჰიდროგენერატორის სტატიკური მძლავრდენისა ტირისტორული აგზნების სისტემაში სამფაზა მოკლე შერთვის რეჟიმის ანალიზი.....	43
2.1. სამფაზა მოკლედ შერთვის დროს მიმდევრობითი ვოლტსამატი ტრანსფორმატორის მოქმედების ეფექტურობა.....	43
2.2. არასიმეტრიული მოკლე შერთვის დროს თვითაგზნებით ჰიდროგენერატორის მუშაობა.....	50
2.3. თვითაგზნება მიმდევრობითი ვოლტსამატი ტრანსფორმატორის გამოყენების გარეშე.....	61
2.4. ფორსირებისა და განაგზნების პროცესები.....	62
2.5. ასინქრონული რეჟიმის, თვითსინქრონიზაციის და რესინქრონიზაციის განსაკუთრებულობა.....	62
თავი III. ჰიდროგენერატორის სტატიკური მძლავრდენისა ტირისტორული აგზნების სისტემაში ელექტრომაგნიტური პროცესები.....	63
3.1. ელექტრომაგნიტური პროცესების განსაკუთრებულობა.....	63
3.2. არასიმეტრიული მართვის სქემა.....	66
3.3. სქემები ნულოვანი ვენტილებით.....	69
3.4. წრედის ცვლადი მდგენელების გავლენა ცვლადი დენის ძაბვაზე.....	73
თავი IV. რეგულირებად ჰიდროგენერატორში გარდამავალი ელექტრომაგნიტური პროცესები.....	77

4.1. ჰიდროგენერატორში რეგულირების ამოცანები	77
4.2. რეგულირებადი ჰიდროგენერატორის განტოლებები	78
4.3. რეგულირების სისტემის გაგენა ჰიდროგენერატორის დინამიკურ თვისებაზე.....	82
4.4. რეგულირებადი ჰიდროგენერატორის განზოგადოებული სტრუქტურული სქემა.....	87
4.5. ჰიდროგენერატორის მუშაობა არასიმეტრიული დატვირთვის დროს	91
4.6. ჰიდროგენერატორის ტირისტორული აგზნების სისტემის წრედებში გადამეტაბვები	98
თავი V. ენგურჰესის 306 მგვა სიმძლავრის ჰიდროგენერატორის მართვისა და რეგულირების ექსპერიმენტალური მახასიათებლები	104
5.1. ენგურჰესის 306 მგვა სიმძლავრის ჰიდროგენერატორის ტირისტორული აგზნების მოწყობილობები და მათი პარამეტრები.....	104
5.2. მიკროპროცესორების გამოყენება ენგურჰესის ჰიდროგენერატორების მართვისა და რეგულირების მოწყობილობებში.....	107
5.3. ენგურჰესის 306 მგვა სიმძლავრის ჰიდროგენერატორის ტირისტორული აგზნების მოწყობილობებში ექსპერიმენტალური ელექტრომაგნიტური პროცესები.....	128
დასკვნები.....	145
გამოყენებული ლიტერატურა.....	148

ცხრილების ნუსხა

ბპ.

ცხრილი 4.1. სინქრონული მანქანის სტატორის და როტორის გრაგნილებში მაღალი რივის ჰარმონიკების წარმოქმნის მექანიზმი.....	97
ცხრილი 5.1. რეგულატორების შედარებითი მახასიათებლები.....	124
ცხრილი 5.2. შეტყობინების ტექსტი.....	130
ცხრილი 5.3. შეტყობინების ტექსტი.....	131
ცხრილი 5.4. შეტყობინების ტექსტი.....	132
ცხრილი 5.5. შეტყობინების ტექსტი.....	133
ცხრილი 5.6. შეტყობინების ტექსტი.....	134

ნახაზების ნუსხა

ბმ.

ნახ.1.1. ჰიდროგენერატორის სტატიკური ტირისტორული აგზნების სისტემა.....	26
ნახ. 1.2. გარდამქმნელის ორჯგუფიანი სქემა ტირისტორული აგზნების სისტემის.....	31
ნახ. 2.1. დამოკიდებულება $k_{np} = f(k)$ (1) და $\sqrt{6} E = f(k)$ (2).....	46
ნახ. 2.2. დამოკიდებულება $\alpha = f(k), \gamma = f(k)$	46
ნახ.2.3. მიმდევრობითი და გამმართველი ტრანსფორმატორების სიმძლავრეების დამოკიდებულება k -თან.....	48
ნახ. 2.4. თვითაგზნების სისტემის მოქმედების ეფექტურობა სამფაზა მშ-ის რეჟიმში გადამცემი ხაზის დასაწყისში, როცა $X_{d1} = 0,5\%$	49
ნახ. 2.5. გადამცემი ხაზის დასაწყისში ორფაზა მშ-ის დროს მიწაზე ძაბვებისა და დენების ვექტორული დიაგრამა.....	54
ნახ. 2.6. ელექტროგადაცემის ჩანაცვლების სქემა.....	58
ნახ. 3.1. ამაღლებული ფორსირების ჯერადობის დროს გამართული ძაბვა ($\gamma = 0$).....	65
ნახ. 3.2. აგზნება გაწონასწორებული მართვადი სქემით I – მთავარი გენერატორი, II – დამხმარე გენერატორი.....	65
ნახ. 3.3. ნულოვანი ვენტილებით და სამფაზა გამმართველებით აგზნების სქემა.....	65
ნახ. 3.4. ჰიდროგენერატორის აგზნების სისტემის პრინციპული სქემა.....	68
ნახ. 3.5. აგზნების ფორსირების ჯერადობის დამოკიდებულება ტიპიური სიმძლავრისაგან.....	69
ნახ. 3.6. თვითაგზნების ტირისტორული სისტემა ნულოვანი ვენტილებით და ექვსფაზა სქემით სამფაზა გამათანაბრებელი რეაქტორით.....	70

ნახ.3.7. ა) სამფაზა ბოგირული სქემა ორი ნულოვანი ვენტილით 1,2 (ა), ფაზური დენი და გამართული ძაბვა სამფაზა სქემაში ნულოვანი ვენტილით (ბ).....	71
ნახ. 3.8. V_1, V_2, V_3 კომუტაციის კუთხეების განსაზღვრა.....	74
ნახ. 3.9. გამართული ძაბვის საშუალო მნიშვნელობის განსაზღვრის ცდომილების მრუდი.....	75
ნახ. 4.1. ელექტროსისტემის უმარტივესი სქემა.....	79
ნახ. 4.2. ძლიერი მოქმედების რეგულატორის ჩანაცვლების სქემა.....	81
ნახ. 4.3. ჰიდროგენერატორის აგზნების რეგულირების სისტემის განზოგადოებულ სტრუქტურული სქემა.....	90
ნახ. 4.4. გადამეტაბვისაგან დაცვა, განპირობებული კომუტაციური პროცესებით გარდამქმნელში.....	102
ნახ. 5.1. აგზნების ავტომატური რეგულატორის ფუნქციონალური სქემა.....	110
ნახ. 5.2. აგზნების ციფრული რეგულატორის ბლოკ-სქემა.....	121
ნახ. 5.3. ტირისტორული გარდამქმნელის ფუნქციონალური სქემა ციფრული მართვის სისტემით.....	126
ნახ. 5.4. ჰიდროგენერატორის რეჟიმის პარამეტრების ცვლილების ოსცილოგრამები დროში.....	135
ნახ. 5.5. ჰიდროგენერატორის რეჟიმის პარამეტრების ცვლილების ოსცილოგრამები დროში.....	136
ნახ. 5.6. ჰიდროგენერატორის რეჟიმის პარამეტრების ცვლილების ოსცილოგრამები დროში.....	137
ნახ. 5.7. ჰიდროგენერატორის რეჟიმის პარამეტრების ცვლილების ოსცილოგრამები დროში.....	138
ნახ. 5.8. ჰიდროგენერატორის რეჟიმის პარამეტრების ცვლილების ოსცილოგრამები დროში.....	139
ნახ. 5.9. ჰიდროგენერატორის რეჟიმის პარამეტრების ცვლილების ოსცილოგრამები დროში.....	140
ნახ. 5.10. ჰიდროგენერატორის რეჟიმის პარამეტრების ცვლილების ოსცილოგრამები დროში.....	141
ნახ. 5.11. ჰიდროგენერატორის რეჟიმის ელექტრომაგნიტური პარამეტრების ცვლილების ოსცილოგრამები დროში.....	142

ნახ. 5.12. ჰიდროგენატორის რეჟიმის ელექტრომაგნიტური პარამეტრების ცვლილების ოსცილოგრამები დროში.....	143
ნახ. 5.13. ჰიდროგენატორის რეჟიმის ელექტრომაგნიტური პარამეტრების ცვლილების ოსცილოგრამები დროში.....	144

ძირითადი აღნიშვნები

$\cos\varphi$ – სიმძლავრის კოეფიციენტი

$t_{\text{ფ}}$ – ფორსირების გადატვირთვის დრო

P – აქტიური სიმძლავრე

γ – კომუტაციის კუთხე

\bar{E} – ფაზური მნიშვნელობის კომუტაციის ემპ

\bar{U} – გენერატორის ძაბვა

\bar{I} – გენერატორის დენი

$k_{\text{ტრ}}$ – გამმართველი ტრანსფორმატორის ტრანსფორმაციის კოეფიციენტი

X'_M – ტრანსფორმატორის ინდუქციური წინაღობა

E_m – ემპ-ის ამპლიტუდა

φ – კუთხე U და I შორის

U_d – აგზნების წრედის ძაბვა

I_d – გამართული დენის საშუალო მნიშვნელობა

α – მძლავრდენისა ტირისტორის მართვის კუთხე

ΔU – პირდაპირი ძაბვის ვარდნა ტირისტორებში სქემის ერთ მხარეს

R_f – ომური წინაღობა აგზნების გრაგნილის და შემაერთებელი კაბელების მუდმივი დენის მხარეზე

k – აგზნების ფორსირების ჯერადობა

U_{dH} – აგზნების წრედის ძაბვა ნომინალურ რეჟიმში

X_{d1} – ტრანსფორმატორის პირველადი გრაგნილის ინდუქციური წინაღობა

K – მიმდევრობითი ტრანსფორმატორის ტრანსფორმაციის კოეფიციენტი

Y_P – კომუტაციის კუთხე მხოლოდ ერთი მუშა ჯგუფის მუშაობის დროს

X_P, r_P – ინდუქციური და აქტიური წინაღობა მოკლე შერთვის დროს გამმართველი ტრანსფორმატორის პირველადი და ნაწილი მეორადი გრაგნილის, შემაერთებელი კაბელების გათვალისწინებით

X_B – ინდუქციური წინაღობა მშ-ის წერტილსა და გენერატორის გამომყვანებს შორის

r –ჯამური წინაღობა სტატორის წრედის მშ-ის წერტილამდე

P_1 –ტირისტორული აგზნების სისტემის რეგულირების ($\alpha \neq 0$) დროს გარდამავალი დენების მდგენელების მიღევის კოეფიციენტი

P_{10} –ტირისტორული აგზნების სისტემის არარეგულირების ($\alpha = 0$) დროს გარდამავალი დენის მდგენელების მიღევის კოეფიციენტი

e_d –სინქრონული გენერატორის ე.მ.ძ.

$K(P)$ –რეგულატორის, აგზნების სისტემის და როტორის გადამცემი ფუნქცია

შესავალი

ენერგოსისტემაში სინქრონული მანქანების მუშაობის მაღალი ეფექტურობა მჭიდროდაა დაკავშირებული აგზნების და აგზნების ავტომატური რეგულატორების სრულყოფილი სისტემების გამოყენებასთან.

ამჟამად, ფართოდ გამოიყენება სტატიკური და მბრუნავი ნახევრადგამტარული გამმართველები, რომლებმაც მთლიანად შეცვალეს აგზნების კოლექტორული სისტემები.

აგზნების სისტემაში მრავალ რთულ მოვლენას შორის განსაკუთრებული ადგილი უკავია ელექტრომაგნიტურ პროცესებს. მოცემულ სამუშაოში აღნიშნული პროცესები განხილულია სტატიკური ტირისტორული თვითაგზნების სისტემებისათვის და მოიცავს დამყარებულ და გარდამავალ რეჟიმებს.

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

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.

სადისერტაციო ნაშრომში ელექტრომაგნიტური პროცესების შესწავლა მოიცავს შემდეგ საკითხებს:

ჰიდროგენერატორის ტირისტორული აგზნების სისტემაში ელექტრომაგნიტური პროცესების მათემატიკური მოდელის დამუშავებას როგორც სიმეტრიული სამფაზა მოკლე შერთვის ისე არასიმეტრიული

მოკლე შერთვის დროს. ჰიდროგენერატორის ტირისტორული აგზნების სისტემის სხვადასხვა სქემების, სამფაზა ბოგირული სქემა ნულოვანი ვენტილებით და მის გარეშე; თვითაგზნების ტირისტორული სისტემა ნულოვანი ვენტილებით და ექვსფაზა სქემით სამფაზა გამათანაბრებელი რეაქტორით, კვლევას. მიღებული ძირითადი თანაფარდობების საფუძველზე რეგულირების კუთხის და კომუტაციის კუთხის ცვლილების არის განსაზღვრას. ნულოვანი ვენტილების როლის კვლევას ჰიდროგენერატორის ტირისტორული აგზნების სისტემის სხვადასხვა სქემებში. ჰიდროგენერატორის ტირისტორული აგზნების სისტემაში მიმდევრობითი ვოლტსამატი ტრანსფორმატორის როლს. კვლევების პროცესში გამოყენებული იქნა ინდუქციურად დაკავშირებული წრედების თეორია და მათემატიკური მოდელირების მეთოდები.

ნაშრომის სამეცნიერო სიახლეა:

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 უწყესრივობათა აცილებას, ხარისხოვნად აუმჯობესებს ტირისტორული აგზნების სისტემას.

სადისერტაციო სამუშაოში მიღებული შედეგები შეიძლება გამოყენებული იქნეს სინქრონული თბო და ჰიდროგენერატორების ტირისტორული აგზნების სისტემის ექსპლუატაციის პროცესში.

სადისერტაციო სამუშაოების შედეგები გამოქვეყნებული იქნა ოთხ სამეცნიერო სტატიაში.

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

ლიტერატურული მიმოხილვა

თანამედროვე სინქრონული თბო და ჰიდროგენერატორები აღჭურვილია თვითაგზნების ციფრული სისტემებით [1-3]. მძლავრი სინქრონული გენერატორების თვითაგზნების სისტემებში გამოიყენება მძლავრდენისა ტირისტორული გარდამქმნელები (ტგ), რომელშიც ნორმირებული დენები უზრუნველყოფილია რამოდენიმე ვენტილური შტოების პარალელური შეერთებით. აღნიშნული შეერთება სტრუქტურულად და კონსტრუქციულად რეალიზებულია ან გარდამქმნელის მხარში ან პარალელურ ვენტლურ ნაწილებში, ჩვეულებრივ შესრულებული ბოგირული სქემით [1,4-10]. სინქრონული გენერატორების (სგ) აგზნების სისტემასთან წაყენებული მოთხოვნების შესაბამისად, თვითაგზნების სისტემამ უნდა უზრუნველყოს მათი მუშაობის ყველა რეჟიმი, მათ შორის სგ-ის გამომყვანებზე ძაბვის ფორსირება, როცა ადგილი აქვს მოკლე შეერთვას (მშ) ენერგოსისტემაში [11-14]. პარალელური შტოების ან ვენტილური ნაწილების მტყუნება მძლავრდენისა გარდამქმნელში იწვევს მისი დატვირთვის უნარიანობის შემცირებას, რის შედეგად იზღუდება სინქრონული გენერატორის მუშაობის რეჟიმები. ამავე დროს ძაბვის ფორსირების უზრუნველყოფა სგ-ის გამომყვანებზე წარმოადგენს აუცილებელ პირობას ენერგოსისტემაში ავარიის დროს გ-ის მდგრადი მუშაობის შენარჩუნებისათვის აუცილებელ პირობას. ამგვარად საანგარიშო რეჟიმებში ტირისტორების არჩევის დროს თვითაგზნების სისტემაში მიიღება გენერატორის ფორსირება რამოდენიმე პარალელური ვენტილების ერთდროული მტყუნების გათვალისწინებით. ერთ მხარში ვენტილების მტყუნების რიცხვიდან დამოკიდებულებაში სახელმწიფო სტანდარტი ადგენს გენერატორის როტორის დენის შეზღუდვას და შემოაქვს აკრძალვა სგ-ის გამომყვანებზე ძაბვის ფორსირებაზე [15-19].

თუმცა ამ დროს არ ითვალისწინება სიტუაცია, რომელშიც ტგ-ს გააჩნია უნარი ადაღინოს ძაბვა სგ-ის გამომყვანებზე ნორმირებულზე ნაკლები დენის მიხედვით ფორსირების ფაქტიური ჯერადობის დროს.

გარდა ამისა ფორსირების რეალური ხანგრძლივობა განისაზღვრება მშ-ის გამორთვის დროით და წარმატებული გამორთვის შემთხვევაში როცა განვითარებული მშ ხშირად აღმოჩნდება მნიშვნელოვნად ნაკლები ნორმირებულზე [20]. ამიტომ, როცა მშ-ის გამორთვის დრო არ აჭარბებს ტგ-ის გახურების ხანგრძლივობას ზღვრულ დასაშვებ ტემპერატურამდე, ფორსირება არ იწვევს ტირისტორების გახურებას და არ უნდა იყოს მიზეზი მისი შეწყვეტისა. თანამედროვე თვითაგზნების სისტემებში მიკროპროცესორული მართვის გამოყენება [16,18] ქმნის პირობას მძლავრდენისა ტირისტორული გარდამქმნელის მართვის ეფექტური ალგორითმის დამუშავებისა, რომელიც ითვალისწინებს რეალურ ელექტრომაგნიტურ და თბურ რეჟიმებს გარდამქმნელის მუშაობაში, უზრუნველყოს გენერატორის ფორსირება, როცა ადგილი აქვს შტოებში პარალელური ვენტილების მტყუნებას.

რადგანაც ფორსირების დასაშვები ხანგრძლივობა შეზღუდულია ტირისტორების გახურების დროით ნორმირებული ტემპერატურამდე, ამიტომ მისი სიდიდე დამოკიდებულია მრავალ ფაქტორზე: წინა რეჟიმში ვენტილური გარდამქმნელის დატვირთვა, გარდამქმნელის მხარში გამტარი ვენტილური შტოების რაოდენობა, ტირისტორების გახურების ტემპერატურის ტექნოლოგიური გაფანტვა და სხვა. გარდა ამისა თვითაგზნების სისტემაში ვენტილური გარდამქმნელი კვებას დებულობს სგ-ის გამომყვანებიდან და ამიტომ მისი მუშაობის პირობებზე და რეჟიმზე ფორსირების პროცესში ახდენენ გავლენას გარდამავალი პროცესები არა მხოლოდ როტორის წრედში არამედ სგ-ის სტატორის წრედში. [21-24]. შედეგად, მისწრაფებისა შეინარჩუნოს სინქრონული გენერატორის ფუნქციონალური შესაძლებლობა პარალელური ტირისტორების მტყუნების დროს, საჭიროა გათვალისწინებული იქნეს სინქრონულ გენერატორში და ტირისტორულ გარდამქმნელში პროცესების ურთიერთკავშირი. ამ შემთხვევაში უნდა განისაზღვროს დამოკიდებულება დენის მიხედვით ფორსირების დასაშვები ჯერადობისა და მისი ხანგრძლივობისა მშ-ის სახეობისა და დაშორებისაგან.

თვითაგზნების სინქრონული გენერატორის მუშა რეჟიმში ტირისტორული გარდამქმნელის ყველა მხარში დატვირთვა, როგორც წესი ერთნაირია. დატვირთვის არათანაბარი განაწილება აღიძვრება პარალელური ვენტილური შტოების მტყუნების დროს ან გენერატორის არასიმეტრიული მშ-ის დროს. ამ შემთხვევაში განსხვავება ტირისტორების გახურების ტემპერატურას შორის სხვადასხვა მხარში დამოკიდებულია ტირისტორული გარდამქმნელის მკვებავი ძაბვების არასიმეტრიულობისაგან, ტირისტორების მართვის სისტემის შესრულებისაგან და მკვებავი ქსელის ძაბვასთან მისი სინქრონიზაციის მეთოდით. გარდამქმნელის იმპულსურ-ფაზური მართვის დროს მისი მუშაობის რეჟიმები განისაზღვრება ტირისტორების ჩართვის კუთხეებით, რომლის მართვა შეიძლება განხორციელდეს სხვადასხვაგვარად [25-26] აგზნების დენის შეზღუდვა ტირისტორების სიმეტრიული მართვის დროს საშუალებას იძლევა საჭირო დროის მომენტში შეამციროს ძაბვის მიხედვით ფორსირების ჯერადობა და ამით შეზღუდოს აგზნების დენი და აიცილოს გარდამქმნელის გადახურება ფორსირების დენით. მეორე მხრივ, თუ გარდამქმნელის სხვადასხვა მხარში ტირისტორების დატვირთვა ამა თუ იმ მიზეზის გამო აღმოჩნდება არა ერთნაირი, მაშინ სიმეტრიული მართვა არ იძლევა საშუალებას სრულად გამოვიყენოთ გარდამქმნელის არსებული მარაგი. ეს შესაძლებელია მხოლოდ მხრების არასიმეტრიული მართვის დროს.

აღნიშნული რეზერვის რეალიზაცია საშუალებას იძლევა არა მხოლოდ აგვაცილოს ტირისტორული გარდამქმნელის გადახურება ფორსირებული დენით პარალელური ტირისტორების მტყუნების დროს, არამედ იმოქმედოს მისი დასაშვები ხანმგრძლივობაზე და მით მეტი შეინარჩუნოს ფუნქციონალური თვისება ტირისტორული გარდამქმნელის და თვითაგზნების სისტემის ტირისტორების უფრო ეფექტური მართვის ხარჯზე.

ამიტომ ტირისტორული გარდამქმნელის ეფექტური მართვის ალგორითმის დამუშავება, მოითხოვს ფორსირებული რეჟიმის კვლევას ტირისტორების მართვის სხვადასხვა მეთოდის დროს. გარდა ამისა

მოკლე შერთვის დროს ენერგოსისტემაში სინქრონული გენერატორის გამომყვანებზე ძაბვა და, შესაბამისად ფორსირების ჯერადობა ძაბვის მიხედვით მცირდება. ამიტომ აღნიშნულ რეჟიმებში ტირისტორების მართვით, შეიძლება ავიცილოთ ჯერადობის ასეთი შემცირება, რომლის დროსაც შეუძლებელია ფორსირება ან აღიძვრება ძაბვის ზევაი სინქრონული გენერატორის გამომყვანებზე [27-31]. აღნიშნული ამოცანის გადაწყვეტისათვის გამოკვლეული უნდა იქნეს დამოკიდებულება ფორსირების დასაშვები ხანგრძლივობის გენერატორის როტორის ძაბვისა და დენის მიხედვით ჯერადობისაგან ტირისტორების სხვადასხვა მეთოდით მართვის დროს.

ამისათვის უნდა ჩატარდეს შემდეგი ღონისძიებები:

- უნდა დამყარდეს ურთიერთკავშირი ტირისტორების მართვის მეთოდებს შორის, მხრებში დენების განაწილებასთან, გარდამქმნელის გამართულ ძაბვასთან და თბური დანაკარგებთან მათ ვენტილებში სინქრონული გენერატორის გარედ სხვადასხვა სახის მშ-ის დროს.
- უნდა დაუკავშირდეს ელექტროთბური პროცესები ტირისტორული გარდამქმნელში ელექტრომაგნიტური გარდამავალ პროცესებთან სინქრონული გენერატორის გრაგნილებში ენერგოსისტემაში მშ-ს სხვადასხვა ხანგრძლივობისა და დაშორებისა.
- განისაზღვროს ფორსირების დასაშვები ჯერადობა და ხანგრძლივობა ტირისტორების მართვის სხვადასხვა მეთოდებისათვის. აღნიშნული ამოცანის გადაწყვეტოსათვის აუცილებელია მათემატიკური მოდელი სინქრონული გენერატორის თვითაგზნების სისტემით, რომელმაც უნდა აღწეროს ურთიერთკავშირი ტირისტორული გარდამქმნელის ელემენტების პარამეტრებსა და სინქრონული გენერატორის შორის მუშაობის გარდამავალ რეჟიმში, ტირისტორების მართვის შესაძლო მეთოდების გათვალისწინებით.

აგზნების ვენტილური სისტემებით სინქრონული მანქანების მუშაობის რეჟიმების ანალიზი და ანგარიშის საკითხები განხილული

იქნა ცნობილი მეცნიერების მხრივ, როგორებიც იყვნენ: გორევი ა.ა., ვენიკოვი ს.ა, ულიანოვი ა.ა., კოვანი ა.ა., კაზოვსკი ე.პ., კრიუჩკოვი ი.პ., ოურგანოვი ა.ს., ესიპოვიჩი ა.ხ., ლოხანინი ე.კ., და სხვა., ხოლო სამუშაოებში გლებოვი ი.ა., ვინოგრადოვი ა.ა., ვეიგანდტი ვ.ი., კოსტე-ლიანცი ვ.ს., აბრამოვიჩი ბ.ნ., პლახტინი ო.გ., ლოგინოვი ა.გ., ლუტიძე შ.ი., მაღლაფერიძე ო.კ., ფედოტოვი ა.ი და შემდეგი. სინქრონული გენერატორების ანალიზი განიხილება თვითაგზნების ვენტილურ სისტემებთან. აღნიშნულ სამუშაოებში სინქრონული გენერატორის აგზნების დენის მიხედვით ფორსირების ჯერადობის შეზღუდვა პარალელური ვენტილების შტოების დროს არ განიხილება. ურთიერთკავშირში ძაბვის მიხედვით ჯერადობასთან და ფორსირების დასაშვები ხანგრძლივობასთან. ამიტომ დასმულია ამოცანა – დამუშავდეს მათემატიკური მოდელი “სინქრონული გენერატორი თვითაგზნების სისტემით – მძლავრდენისა ტორისტორული გარდამქნელი”, რომელშიც ტორისტორულ გარდამქნელში ელექტროთბური პროცესები დაკავშირებულია სინქრონული გენერატორის გრაგნილებში ელექტრომაგნიტურ გარდამავალ პროცესებთან, და მის საფუძველზე დამუშავდეს მიკროპროცესორული მოწყობილობებით მართვადი თვითაგზნების სისტემის მართვის ალგორითმი ტორისტორული გარდამქნელის პარალელური ვენტილური შტოების მტყუნების დროს, როდესაც შენარჩუნებული იქნეს სინქრონული გენერატორების და მათი მძლავრდენისა თვითაგზნების სისტემების მაღალი ფუნქციონალური თვისებები ენერგოსისტემაში მშ-ის დროს.

შედეგები და მათი განსჯა

თავი I. ჰიდროგენერატორის მძლავრდენისა ტირისტორული აგზნების სისტემაში ელექტრომაგნიტური პროცესების მათემატიკური მოდელი

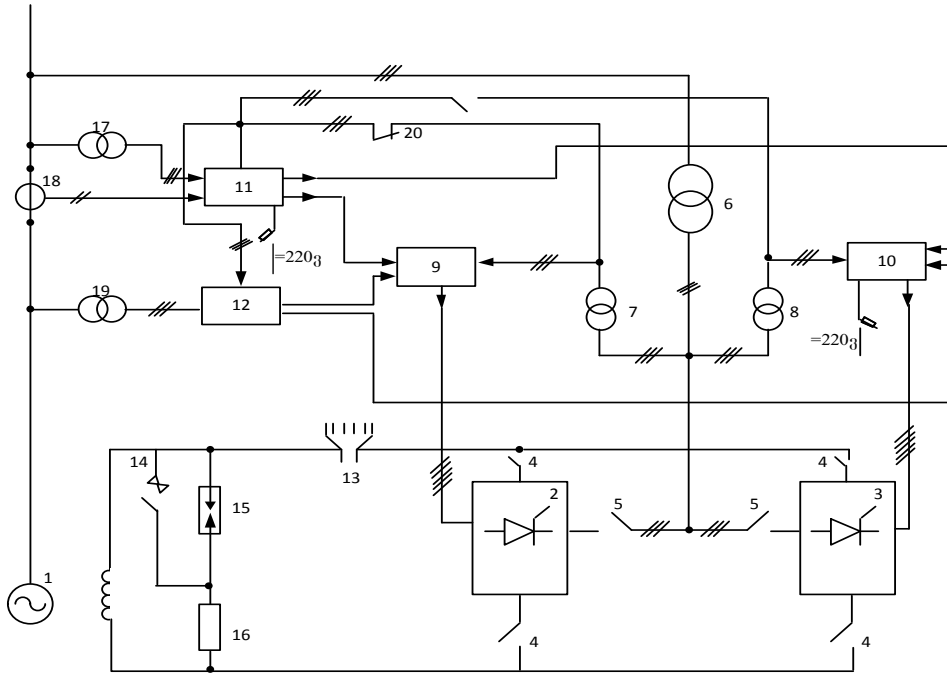
1.1. ჰიდროგენერატორის სტატიკური მძლავრდენისა ტირისტორული აგზნების სისტემა

ნახ.1.1. მოცემულია ჰიდროგენერატორის სტატიკური მძლავრდენისა ტირისტორული აგზნების სისტემა. როტორის გრაგნილი კვებას ღებულობს გამმართველებიდან, რომლებიც მიერთებული არიან გამმართველი ტრანსფორმატორის მეორად გრაგნილთან. პირველადი გრაგნილი უშუალოდ მიერთებულია ჰიდროგენერატორის გამომყვანებთან. გამმართველებს ცვლადი და მუდმივი დენის მხარეს გააჩნია ჩამრახები. ეს იძლევა საშუალებას პროფილაქტიკური და სარემონტო სამუშაოების ჩატარებისა ერთ-ერთ მათგანზე გენერატორის გამორთვის გარეშე.

გამმართველების თბური ანგარიში 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 $2I_{აბ}$ -მდე; აღნიშნული რეჟიმი უზრუნველყოფილი უნდა იქნეს ვენტილების სრული რიცხვის დროს და როცა თითოეულ მხარეში პარალელურ შტოდან ერთ-ერთის მტყუნებას აქვს ადგილი;



ნახ.1.1. ჰიდროგენერატორის სტატიკური მძლავრდენისა ტირისტორული აგზნების სისტემა 1-ჰიდროგენერატორი; 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-მცლელი; 16-თვითსინქრონიზაციის წინაღობა; 17,19-ძაბვის ტრანსფორმატორები; 18-დენის ტრანსფორმატორი; 20-კეების რელე.

დატვირთვის შეზღუდვის რეჟიმი $P = P_{\delta}$ 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.

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. მიმყოლ რეჟიმში ძაბვის ავტომატური რეგულატორი იმახსოვრებს სიგნალებს, პროპორციულ გენერატორის სტატორზე ძაბვის და მიწოდებულს 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 საჭაერო გაცივება.

1.2. სტატიკური მძლავრდენისა ტირისტორული აგზნების სისტემაში ელექტრომაგნიტური პროცესების მათემატიკური მოდელი

ტირისტორული აგზნების სისტემაში ელექტრომაგნიტური პროცესები უპირველეს ყოვლისა განიხილება გამმართველ სისტემებში. თავიდან განვიხილება აგზნების სისტემა ერთჯგუფიანი, შემდეგ ორჯგუფიანი გარდამქმნელის ბოგირული სქემით [52,54].

გენერატორის აგზნების დენი ნორმალურ რეჟიმში განისაზღვრება გარდამქმნელის გარე მახასიათებლის და ძაბვების ვექტორული

დიაგრამის საშუალებით. გამმართველი ნორმალურ რეჟიმში მუშაობს კომუტაციის კუთხით γ . ფაზური მნიშვნელობის კომუტაციის ემდ გამოსახება შემდეგი გამოსახულებით

$$\bar{E} = \frac{\bar{U}}{k_{np}} + jx'_M \bar{I}, \quad (1.1)$$

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

თუ აგზნების ავტომატური რეგულატორი ინარჩუნებს მუდმივ U ძაბვას გენერატორის მომჭერებზე, მაშინ $U = const$. იმ შემთხვევაში, როცა შენარჩუნებულია ძაბვა მუდმივი არა გენერატორის მომჭერებზე, არამედ სადგურის მაღალი ძაბვის სალტეზე, აუცილებელია გავითვალისწინოთ ძაბვის ვარდნა ამამაღლებელ ტრანსფორმატორში.

(1.1) განტოლებიდან ვპოულობთ ემდ-ის ამპლიტუდას

$$E_m = \sqrt{2} \sqrt{\left(\frac{U}{k_{np}} + Ix'_M \sin\varphi\right)^2 + (Ix'_M \cos\varphi)^2} \quad (1.2)$$

სადაც φ -კუთხე U და I შორის.

აგზნების წრედისთვის გვექნება [32]

$$U_d = \frac{3\sqrt{3}}{\pi} E_m \cos\alpha - 2\Delta U - \frac{3}{\pi} xI_d - \left(2 - \frac{3\gamma}{2\pi}\right) rI_d, \quad (1.3)$$

სადაც α - მართვის კუთხე, ΔU - პირდაპირი ძაბვის ვარდნა ტირისტორებში სქემის ერთ მხარეს, I_d - გამართული დენის საშუალო მნიშვნელობა.

(1.2) და (1.3) გამოსახულებიდან ერთჯგუფიანი გარდამქმნელის სქემისთვის ვპოულობთ

$$\begin{aligned} I_d R_f + \frac{3}{\pi} xI_d + \left(2 - \frac{3\gamma}{2\pi}\right) rI_d + 2\Delta U = \\ = \frac{3\sqrt{6}}{\pi} \sqrt{\left(\frac{U}{k_{np}} + Ix'_M \sin\varphi\right)^2 + (Ix'_M \cos\varphi)^2} \cos\alpha, \quad (1.4) \end{aligned}$$

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. ძაბვის შემცირებისას ჭერული ძაბვის მნიშვნელობა აგზნების ავტომატური რეგულატორის შესასვლელში უნდა აღწევდეს 5%-მდე ფორსირების ჯერადობის დროს 3 და 7,5%-მდე, ფორსირების დიდი ჯერადობის დროს. თუ ავღნიშნავთ

$$\varepsilon = \frac{100 - (5 \div 7,5)}{100},$$

მაშინ ფორსირების რეჟიმში α -ს მყისი ცვალებადობით ნულამდე (14)-დან მივიღებთ

$$KI_d R_f + \frac{3}{\pi} I_d + \left(2 - \frac{3\gamma}{2\pi}\right) r I_d + 2\Delta U = \frac{3\sqrt{6}}{\pi} \sqrt{\left(\frac{\varepsilon U}{k_{np}} + IX'_M \sin\varphi\right)^2 + (IX'_M \cos\varphi)^2}, \quad (1.5)$$

სადაც k - აგზნების ფორსირების ჯერადობა, დენები I_d და I , აგრეთვე $\cos\varphi$ იგივეა, რაც (14)-ში.

უნდა აღინიშნოს, რომ ძაბვის შემცირება 5 და 7,5%-ზე წარმოადგენს ზღვრულს. ძლიერი მოქმედების აგზნების ავტომატურ რეგულატორს გააჩნია საკმარისი მაღალი რეგულირების კოეფიციენტი ძაბვის მიხედვით. თუ მაგალითად, რეგულირების კოეფიციენტი ტოლია 50, მაშინ ჩვეულებრივი ფორსირების ჯერადობის 2-ის დროს და საწყისი ნომინალური რეჟიმის დროს აგზნების ჭერული ძაბვა იქნება მიღწეული გენერატორის ძაბვის 2%-ით შემცირების დროს. მოყვანილი მაგალითი მიუთითებს შესაძლებლობებზე მხედველობაში არ მივიღოთ გენერატორის ძაბვის მცირე შემცირება აგზნების ფორსირების დროს საწყისი ნომინალური რეჟიმიდან. ამ შემთხვევაში (14)-დან (15)-ის ნაცვლად გვექნება

$$\cos\varphi = 1 - \left(K - \frac{U_d}{U_{dH}}\right) \frac{\pi U_{dH}}{3\sqrt{6}E}, \quad (1.6)$$

სადაც U_d -საწყისი ძაბვა, ხოლო U_{dH} -ძაბვა ნომინალურ რეჟიმში.

სავარაუდო ანგარიშების დროს დასაშვებია (14)-ის კიდევ გამარტივება თუ დაუშვებთ, რომ მიმდევრობითი ტრანსფორმატორის

გრაგნილებისთვის მაგნიტური კავშირის კოეფიციენტი მიახლოებით ტოლია ერთის. ამ შემთხვევაში

$$X'_M = kX_{\Delta 1}, X_H = k^2X_{\Delta 1} + X_T,$$

სადაც k -მიმდევრობითი ტრანსფორმატორის ტრანსფორმაციის კოეფიციენტი, $X_{\Delta 1}$ -ტრანსფორმატორის პირველადი გრაგნილის ინდუქციური წინაღობა. მაშინ (1.4) გარდაიქმნება შემდეგი სახით

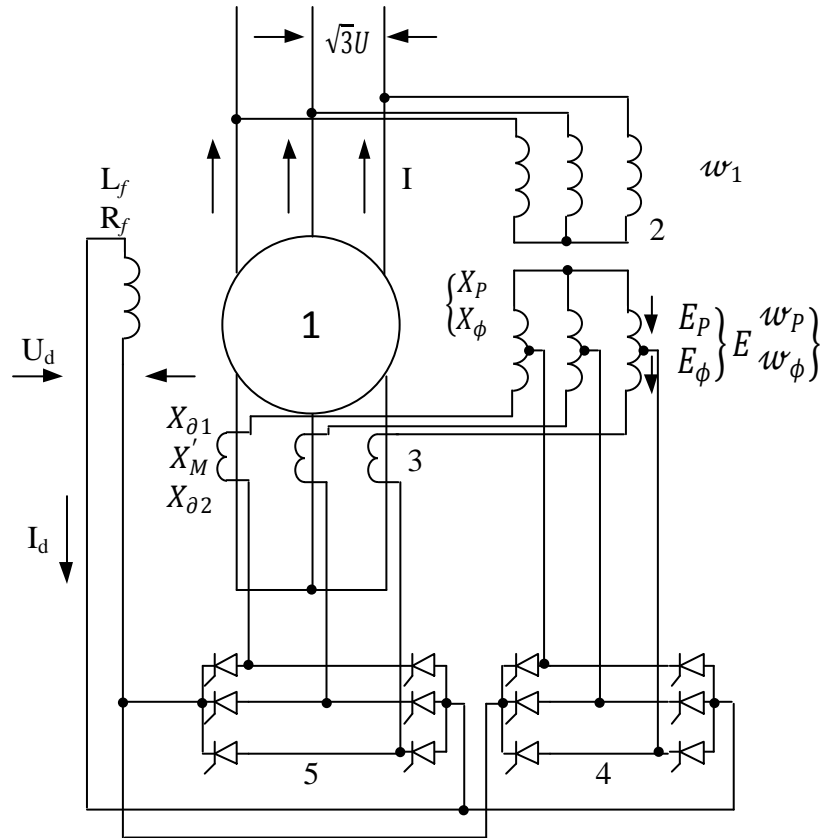
$$I_d R_f + \frac{3}{\pi} (k^2 X_{\Delta 1} + X_T) + \left(2 - \frac{3\gamma}{2\pi}\right) (r_{\Delta 2} + r_T) I_d + 2\Delta U = \frac{3\sqrt{6}}{\pi} \sqrt{\left(\frac{U}{k_{np}} + IKX_{\Delta 1} \sin\varphi\right)^2 + (IKX_{\Delta 1} \cos\varphi)^2} \cos\alpha \quad (1.7)$$

გამოსახულების შემდეგი გამარტივება, მდგომარეობს ტრანსფორმატორების და შემაერთებელი კაბელების აქტიური წინაღობების უგულებელყოფით. მაშინ

$$I_d R_f + \frac{3}{\pi} (k^2 X_{\Delta 1} + X_T) + 2\Delta U = \frac{3\sqrt{6}}{\pi} \sqrt{\left(\frac{U}{k_{np}} + IKX_{\Delta 1} \sin\varphi\right)^2 + (IKX_{\Delta 1} \cos\varphi)^2} \sin\alpha \quad (1.8)$$

(1.6)-დან შეიძლება ვიპოვოთ $\cos\alpha$. მაშინ (1.8) ადგენს კავშირს k_{np} , k და $X_{\Delta 1}$ მთავარი პარამეტრებს შორის. ამიტომ მათი განსაზღვრისათვის საჭიროა დამატებითი განტოლებები, რომლებიც ქვემოდ იქნება მიღებული გარდამავალი პროცესების შესწავლის საფუძველზე.

ნახ.1.2 ნაჩვენებია ტირისტორული აგზნების სისტემის გარდამქმნელის ორჯგუფიანი სქემა.



ნახ.12. გარდამქმნელის ორჯგუფიანი სქემა ტირისტორული აგზნების სისტემის:

1-სინქრონული გენერატორი, 2-გამმართველი ტრანსფორმატორი, 3-მიმდევრობითი ვოლტსამატი ტრანსფორმატორი, 4-ვენტილების მუშა ჯგუფი, 5-ვენტილების ფორსირებული ჯგუფი.

აგზნების სისტემის ორჯგუფიანი სქემის შემთხვევაში (ნახ.12) გრაგნილების ფორსირებული ნაწილი ახდენს მცირე გავლენას გარე მახასიათებელზე. ამიტომ საწყის რეჟიმში

$$E_{mp} = \sqrt{2} \frac{(1-a)U}{k_{np}}, \quad (1.9)$$

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

(1.9)-ის მხედველობაში მიღებით, (1.4)-ის ნაცვლად გვექნება

$$I_d R_f + \frac{3}{\pi} x_p I_d + \left(2 - \frac{3\gamma p}{2\pi}\right) r_p I_d + 2\Delta U = \frac{3\sqrt{6}(1-a)U}{\pi k_{np}} \quad (1.10)$$

აქ V_P - კომუტაციის კუთხე მხოლოდ ერთი მუშა ჯგუფის მუშაობის დროს, X_P და r_P -ინდუქციური და აქტიური წინაღობა მოკლე შერთვის დროს გამმართველი ტრანსფორმატორის პირველადი და მეორადი გრაგნილის მუშა ნაწილის, შემაერთებელი კაბელების გათვალისწინებით.

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

$$U_d = \frac{3\sqrt{3}}{\pi} E_{mp} \cos \alpha_P + \frac{3}{\pi} E_{m\phi} \left[1 + \cos \left(\alpha_\phi + \psi_{\phi P} + \frac{\pi}{6} \right) \right] - \frac{3}{\pi} X_P I_d - \left(2 - \frac{3V_P}{2\pi} \right) r_P I_d - 2\Delta U, \quad (1.11)$$

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 მეორადი გრაგნილის ფორსირებული ნაწილის ე.მ.ძ-ის გეომეტრიული ჯამის 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 (1.9) გამოსახულებით. $E_{m\phi}$ გამოთვლისათვის გამოიყენება გამოსახულება, ანალოგიური (1.2) გამოსახულებისა, სახელდობრ

$$E_{m\phi} = \sqrt{2} \sqrt{\left(\frac{\alpha U}{k_{np}} + IX'_M \sin \phi \right)^2 + (IX'_M \cos \phi)^2} \quad (1.12)$$

ფორსირების რეჟიმში იმუშავენ მხოლოდ ერთი, ფორსირების ტირისტორული ჯგუფი. ვინაიდან ვოლტსამატი ტრანსფორმატორის მეორადი გრაგნილი ჩართულია მიმდევრობით, გამმართველი ტრანსფორმატორის გრაგნილის მეორად ფორსირებულ ნაწილთან (ნახ.1.2), მაშინ (1.4)-(1.8) ფორმულები სამართლიანია ორჯგუფიანი სქემებისათვის. მოკლე შერთვის წინაღობა X_T და r_T მიეკუთვნება გამმართველი ტრანსფორმატორის მეორად სრულ გრაგნილს, შემაერთებელი კაბელების გათვალისწინებით.

უნდა აღინიშნოს, რომ ფარდობა ინდუქციური წინაღობების $q = x_P/x$ ვენტილთა ორი ჯგუფით თვითაგზნების სქემისათვის იქნება

მნიშვნელოვნად ნაკლები, ვიდრე დამოუკიდებელი აგზნების სისტემისთვის. ეს აიხსნება მნიშვნელოვანი დამატებითი წინააღობის არსებობით, ფორსირებული ტირისტორული ჯგუფის კომუტაციის წრედებში.

1.3. სამფაზა მოკლე შერთვის რეჟიმი

თუ დამამშვიდებელ სისტემას გავითვალისწინებთ ერთი ეკვივალენტური კონტურით თითოეულ დერძში და, გარდა ამისა, მივიღებთ, რომ კონტურების ურთიერთ ინდუქციის ინდუქციური წინააღობა ერთმანეთის ტოლია, მაშინ (4.8) განტოლების შესაბამისად [30]-დან სამფაზა მოკლე შერთვის (მშ) რეჟიმისათვის გადამცემ ხაზზე მივიღებთ

$$\begin{bmatrix} r + (x_d + x_B)P & x_q + x_B & x_{ad}P & x_{ad}P & x_{aq} \\ -(x_d + x_B) & r + (x_q + x_B)P & -x_{ad} & -x_{ad} & x_{aq}P \\ x_{ad}P & & r_f + x_fP & x_{ad}P & \\ x_{ad}P & & x_{aq}P & r_{kd} + x_{kd}P & \\ & x_{aq}P & & r_{kq} + x_{kq}P & \end{bmatrix} X \begin{bmatrix} i_d \\ i_q \\ I_d^* \\ I_{kd} \\ I_{kq} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ U_d^* \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}, (1.13)$$

სადაც x_B -ინდუქციური წინააღობა მშ-ის წერტილსა და გენერატორის გამომყვანებს შორის; r -ჯამური წინააღობა სტატორის წრედის მშ-ის წერტილამდე. (1.13) განტოლება არ ითვალისწინებს როტორის სიჩქარის ცვლილებას და ფოლადის გაჯერებას. ამავე დროს უნდა აღინიშნოს, რომ როტორის სიჩქარის მცირე ცვლილებამ სამფაზა მშ-ის დროს, არ შეიძლება მნიშვნელოვანი გავლენა იქონიოს დენებზე გენერატორის კონტურში. რაც შეეხება გაჯერებულობას, ის იცვლება მშ-ის მომენტში ფოლადის გაჯერებით განბნევის გზით და დაახლოებით შეიძლება გათვალისწინებული იქნეს პარამეტრების გაჯერებული მნიშვნელობების გამოყენებით. ამ შემთხვევაში მხედველობაში უნდა მივიდეთ, რომ მშ-ის დროს ამამადლებელი ტრანსფორმატორის იქით დენები გენერატორის კონტურებში და შესაბამისად ფოლადის გაჯერება იცვლება ნაკლებად, ვიდრე მშ-ის დროს მომჭერებზე. მშ-ის მცირე ხანგრძლივობის შედეგად (0,1÷0,25) წმ როტორის სიჩქარე და ფოლადის გაჯერება შეიძლება განვიხილოთ

დაახლოებით მუდმივი. (1.13) განტოლების და გარდამქმნელის გარე მახასიათებლების ერთობლივი შესწავლის აუცილებლობასთან დაკავშირებით მოხერხებულია გამოვიყენოთ აგზნების დენის და ძაბვისათვის ფარდობით ერთეულებში სპეციალური აღნიშვნა * ინდექსის საშუალებით.

აღსანიშნავია რომ, ვინაიდან მშ-ის დროს გამმართველი გადადის მაღალი გამართული ძაბვის მნიშვნელობაზე, ორჯგუფიან სქემაში, აღნიშნულ რეჟიმში, იმუშავებს მხოლოდ ვენტილების ერთი ფორსირების ჯგუფი. აღნიშნულ პირობებში ერთი და ორჯგუფიანი სქემები იქნება იდენტური.

E_d განსაზღვრისათვის აუცილებელია ვიცოდეთ E_m სამფაზა მშ-ის რეჟიმში. [30]-დან შეიძლება ჩავწეროთ

$$E_m = \sqrt{x_M^2 + r_M^2} \sqrt{i_d^2 + i_q^2} i_\delta \quad (1.14)$$

აქ მხედველობაში არ მიიღება ემძ, განპირობებული სტატორის დენების ქრობით. ასეთი დაშვების შესაძლებლობა დაფუძნებულია იმაზე, რომ დენის ცვლილების სიჩქარე, როცა მისი მიღება ექსპონენციალური კანონის მიხედვით მნიშვნელოვნად ნაკლებია დენის ცვლილების სიჩქარეზე, რომელსაც გააჩნია სიხშირე $f_o = 50$ ჰც. რადგან $r_M \ll x_M$, მაშინ შესაბამისად [30]-დან გვაქვს

$$E_m \approx \left(x'_M + \frac{x_B}{k_{np}} \right) \sqrt{i_d^2 + i_q^2} i_\delta \quad (1.15)$$

ჩავწეროთ E_d და R_d ფარდობით ერთეულებში. ავღნიშნოთ ბაზისური სიდიდეები $U_{d\delta} = U_{f\delta}$ და $I_{d\delta} = i_{f\delta}$ შესაბამისად. მაშინ გვექნება

$$\left. \begin{aligned} \ell_d &= \frac{E_d}{U_{d\delta}} = \frac{2}{3} \frac{E_d}{U_\delta i_\delta} I_{d\delta}, \\ r_d &= \frac{R_d}{U_{d\delta}} = \frac{2}{3} \frac{R_d}{U_\delta i_\delta} I_{d\delta}^2 \end{aligned} \right\} \quad (1.16)$$

(1.13) განტოლების მესამე სტრიქონი შეიძლება წარმოვიდგინოთ შემდეგი სახით

$$x_{ad} P i_d + [r_f + (x_f + \omega L_d) P] I_d^* + x_{ad} P I_{kd} = e_d - r_d I_d^* - \Delta U^* \quad (1.17)$$

სადაც

$$\Delta U^* = \frac{2\Delta U}{U_{d\delta}} = \frac{2}{3} \frac{2\Delta U}{\mathcal{U}_\delta i_\delta} I_{d\delta}$$

თუ გავითვალისწინებთ, რომ $\omega L_d \ll x_f$, მაშინ (1.17) ტოლობა მიიღებს შემდეგ სახეს:

$$x_{ad} P i_d + (r_f + r_d + x_f P) I_d^* + x_{ad} P I_{kd} = r_e \sqrt{i_d^2 + i_q^2} - \Delta U^*, \quad (1.18)$$

სადაც

$$r_e = \frac{2}{3} \left(x'_M + \frac{x_B}{k_{np}} \right) \frac{I_{a\delta}}{\mathcal{U}_\delta} k_B \quad (1.19)$$

(1.18)-ის ჩასმის შემდეგ (1.13)-ში მესამე სტრიქონის ნაცვლად განტოლების მარჯვენა ნაწილში წარმოიქმნება დენების გეომეტრიული ჯამი გრძივ და განივ დერძებში. ამიტომ სიჩქარის მუდმივობის და ფოლადში მაგნიტური შეღწევადობის უცვლელობის მიუხედავად (1.13) განტოლება გახდება არახაზოვანი. რიცხობრივი მეთოდების გამოყენების შემთხვევაში დიფერენციალური განტოლების ამოხსნის განტოლება (1.13) წინასწარ უნდა გარდაიქმნას პირველი რიგის დიფერენციალური განტოლებათა სისტემაში, რომელიც ამოიხსნება დენების წარმოებულების მიმართ. ასეთი გარდაქმნა მიზანშეწონილია აგრეთვე, როცა ვიყენებთ დიფერენციალური განტოლებათა სისტემის ამოხსნისათვის კომპიუტერული ტექნიკას.

გაცილებით მძიმე პირობა მიიღება თვითაგზნების სისტემის მუშაობისას გადამცემი ხაზის დასაწყისში განხორციელებული სამფაზა მ.შ. დროს, ამიტომ გარდამავალი პროცესის გამოკვლევა მიზანშეწონილია შესრულდეს აღნიშნული ზღვრული შემთხვევისათვის. ამ შემთხვევაში $x_B = x_T$, სადაც x_T - ამამაღლებელი ტრანსფორმატორის მშ-ის ინდუქციური წინაღობა.

რადგანაც გადამცემი ხაზი მოცემულ შემთხვევაში არ შედის სტატორის გრაგნილების წრედებში, მაშინ აქტიური წინაღობა მოცემული წრედებისთვის მიიღება შედარებით მცირე. ეს იძლევა საშუალებას გამოვიყენოთ გენერატორის გარდამავალი რეჟიმის გამარტივებული ანალიზი სტატორის დენების პერიოდული და არაპერიოდული მდგენელების განსზღვრისათვის. პირველ შემთხვევაში

სტატორის გრაგნილების წინაღობა შეიძლება მივიღოთ ნულის ტოლად, რასაც მიყვავართ დენების ქრობის ნაკლებ სინქარესთან დამამშვიდებელ სისტემაში და მანქანის გამათანაბრებელი ნაკადების ბრუნვის გამორიცხვასთან. მეორე შემთხვევაში გენერატორის თითოეული ფაზა შეიძლება განხილული იქნეს, როგორც კონტური, რომელიც შეიცავს მიმდევრობით შეერთებული r წინაღობას და უკუ მიმდევრობის ინდუქციური წინაღობას x_2 .

საწყისი პირობების მნიშვნელობები და r და x_2 წინაღობები იძლევა შესაძლებლობას განისაზღვროს სტატორის დენების აპერიოდული მდგენელები.

სანამ გადავიდოდეთ (1.13) განტოლების გამარტივებული ფორმით ჩაწერაზე, განვიხილოთ საკითხი სტატორის აპერიოდული დენების გავლენაზე აგზნების სისტემის მუშაობაზე. მოცემულ შემთხვევაში ეს ზეგავლენა შეიძლება იყოს როგორც ცვლადი დენის წრედის მხრიდან, ისე გამართული დენის მხრიდან.

აპერიოდული დენების გავლენა გარდამქმნელის კვების წრედზე მიმდინარეობს აგზნების სისტემის ტრანსფორმატორის მხრიდან, რომლის მეორად გრაგნილებში გამოვლინდება აპერიოდული დენები, რომელთა სიდიდე ძირითადად დამოკიდებულია ვოლტსამატი და გამმართველი ტრანსფორმატორის გრაგნილების ურთიერთ ინდუქციის კოეფიციენტების თანაფარდობაზე, გამართული დენის წრედის ინდუქციურობასთან ერთად. ვინაიდან ვოლტსამატი ტრანსფორმატორის მაგნიტური წრედი გახსნილია, გამმართველი ტრანსფორმატორის მაგნიტური წრედი შეკრული და აგზნების გრაგნილს გააჩნია დიდი ინდუქციურობა, მაშინ ტრანსფორმატორის მეორად გრაგნილებში დენების აპერიოდული მდგენელები წარმოადგენენ მცირე სიდიდეებს შედარებით პერიოდულ მდგენელებთან, რომელთა სიდიდე განისაზღვრება ძირითადად მუდმივი დენის აგზნების გრაგნილის წინაღობით. დენების აპერიოდული მდგენელები ახდენენ უარყოფით გავლენას ვენტილების ძაბვაზე. ეს მიმდინარეობს აპერიოდული დენების ხანგრძლივობის შეზღუდვის შედეგად, ვენტილების გამტარობის ერთი

მიმართულებით, აგრეთვე ტრანსფორმატორის მეორადი გრაგნილის კონტურში აპერიოდული დენების მიღების შედეგად.

ამგვარად, სტატორის დენების აპერიოდული მდგენელები ახდენენ მცირე გავლენას გარდამქმნელის კვების წრედზე. მეორე მხრივ, ეს გავლენა შეიძლება იყოს მნიშვნელოვანი, თუ ვოლტსამატი ტრანსფორმატორის პირველადი და მეორადი გრაგნილების მაგნიტომამოძრავებელი ძალა (მმძ) მიიღება განსხვავებული და აპერიოდული დენები იწვევს ამ ტრანსფორმატორის მაგნიტური წრედის გაჯერებულობის მნიშვნელოვან გაზრდას.

რაც შეეხება აპერიოდული დენების გავლენას გამართული დენის მხარეზე, ის დამოკიდებულია, იმაზე გენერატორს გააჩნია თუ არა დამამშვიდებელი სისტემა. ასეთი სისტემის არსებობის დროს აგზნების დენის პულსაცია მიიღება მინიმალური, ამიტომ აპერიოდული დენების გავლენა გამართული ძაბვის საშუალო მნიშვნელობაზე პრაქტიკულად შეიძლება არ გავითვალისწინოდ. დამამშვიდებელი სისტემის გარეშე სტატორის აპერიოდული დენების გავლენა იქნება დიდი, მეორე მხრივ ამ შემთხვევაში მას შეიძლება არ ქონდეს არსებითი მნიშვნელობა.

ეხლა გადავიდეთ (1.13) განტოლების გამარტივებულ სახეში წარმოდგენაზე:

$$\begin{bmatrix} (x_d + x_B)P & x_q + x_B & x_{ad}P & x_{ad}P & x_{aq} \\ -(x_d + x_B) & (x_q + x_B)P & -x_{ad} & -x_{ad} & x_{aq}P \\ x_{ad}P & & r_f + r_d + x_fP & x_{ad}P & \\ x_{ad}P & & x_{ad}P & r_{kd} + x_{kd}P & \\ & x_{aq}P & & r_{kq} + x_{kq}P & \end{bmatrix} X \begin{bmatrix} i_d \\ i_q \\ I_d^* \\ I_{kd} \\ I_{kq} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ r_e \sqrt{i_d^2 + i_q^2} - U^* \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}, (1.20)$$

მიღებული განტოლება რჩება არახაზოვანი. გამოვრიცხოთ მისგან დამამშვიდებელი სისტემის დენები. გარდაქმნის შემდეგ შეიძლება მივიღოთ

$$\left. \begin{aligned} & \Delta P^2 i_d + \left[\rho_f \sigma'_d + \rho_{kd} \sigma' - \rho_e (\sigma_d - \sigma'_d) \frac{i_d}{\sqrt{i_d^2 + i_q^2}} \right] P i_d + \\ & + \left[\rho_f \rho_{kd} i_d + \rho_{kd} \rho_e (1 - \sigma_d) \sqrt{i_d^2 + i_q^2} + \rho_e (\sigma_d - \sigma'_d) \times \right. \\ & \left. \times \frac{i_q}{\sqrt{i_d^2 + i_q^2}} P i_q \right] = \rho_{kd} (1 - \sigma') \Delta U^*, \\ & \sigma'_q P i_q + \rho_{kq} i_q = 0 \end{aligned} \right\} \quad (1.21)$$

აქ განხილვის კოეფიციენტებისათვის გამოყენებულია შემდეგი აღნიშვნები:

$$\begin{aligned} \sigma_d &= 1 - \frac{x_{ad}}{x_d + x_B}, \sigma'_d = 1 - \frac{x_{ad}^2}{x_{kd}(x_d + x_B)}, \\ \sigma' &= 1 - \frac{x_{ad}^2}{x_f(x_d + x_B)}, \sigma'_q = 1 - \frac{x_{aq}^2}{x_{kq}(x_q + x_B)}, \\ \Delta &= 1 + 2 \frac{x_{ad}^3}{x_f x_{kd}(x_d + x_B)} - \frac{x_{ad}^2}{x_{kd}(x_d + x_B)} - \frac{x_{ad}^2}{x_f x_{kd}} - \frac{x_{ad}^2}{x_f(x_d + x_B)} \end{aligned} \quad (1.22)$$

მიღების კოეფიციენტები ტოლია

$$\rho_f = \frac{r_f + r_d}{x_f}, \rho_e = \frac{r_e}{x_f}, \rho_{kd} = \frac{r_{kd}}{x_{kd}}, \rho_{kq} = \frac{r_{kq}}{x_{kq}} \quad (1.23)$$

(1.21)-ის მეორე განტოლებიდან ვპოულობთ

$$i_q = i''_{q0} e^{-\rho_{kq} t}, \quad (1.24)$$

სადაც i''_{q0} - დენი დამამუვიდებელი კონტურის განივი ღერძში სამფაზა მშ-ის რეჟიმში (როცა $t = 0$),

$$\rho_{kq} = \frac{\rho_{kq}}{\sigma'_q} \quad (1.25)$$

i''_{q0} -ის მნიშვნელობა შეიძლება განისაზღვროს ნაკადუმბის მუდმივობის პირობიდან მშ-ის მომენტში. (1.20) განტოლებიდან როცა $P = \infty$ გვექნება

$$\left. \begin{aligned} (x_q + x_B) i''_{q0} + x_{aq} I''_{kq0} &= 0 \\ x_{aq} i''_{q0} + x_{kq} I''_{kq0} &= x_{aq} i_{q0} \end{aligned} \right\} \quad (1.26)$$

სადაც i_{q0} -სტატორის გრავნილის დენი განივი ღერძში მშ-ის დაწყების წინ.

(1.26) განტოლებებიდან განვსაზღვრავთ

$$i''_{q0} = \frac{\sigma'_q - 1}{\sigma'_q} i_{q0} \quad (1.27)$$

ჩავსვათ i_q (1.24)-დან (1.21)-ის პირველ განტოლებაში, მივიღებთ

$$y'' + \alpha_1 y' + \alpha_2 y = c, \quad (1.28)$$

სადაც

$$y = i_d, a_1 = \frac{1}{\Delta} \left[\rho_f \sigma'_d + \rho_{kd} \sigma' - \rho_e (\sigma_d - \sigma'_d) \frac{i_d}{\sqrt{i_d^2 + (i''_{qo})^2 e^{-2\rho_{kq} t}}} \right],$$

$$a_2 = \frac{1}{\Delta i_d} \left[\rho_f \rho_{kd} i_d + \rho_{kd} \rho_e (1 - \sigma_d) \sqrt{i_d^2 + (i''_{qo})^2 e^{-2\rho_{kq} t}} - \rho_e \rho''_{kq} (\sigma_d - \sigma'_d) \frac{(i''_{qo})^2 e^{-2\rho_{kq} t}}{\sqrt{i_d^2 + (i''_{qo})^2 e^{-2\rho_{kq} t}}} \right],$$

$$c = \frac{\rho_{kd}(1-\sigma')}{\Delta} (\Delta U^*).$$

(1.28) არახაზოვანი განტოლება ამოიხსნება რიცხობრივი მეთოდით. ამისათვის შეიძლება გამოყენებული იქნეს რუნგას, ეილერის და სხვა მეთოდები. მეორე მხრივ მიზანშეწონილია მათთან ერთად გამოყენებული იქნეს ინტეგრალური განტოლება.

ფუნქცია $y(t)$ შეიძლება წარმოდგენილი იქნეს მთელი რიგი წევრებით ინტეგრალურ ფორმაში შემდეგი სახით:

$$y(t) = y(o) + y'(o)t + \int_0^t (t-S)y''(S)ds$$

ავლნიშნოთ $y''(S) = x(S)$ და ჩავსვათ $y(t)$ დიფერენციალურ განტოლებაში (1.28). მაშინ მივიღებთ

$$x(t) + \int_0^t [a_1 + a_2(t-S)]x(S)dS = c - a_1 y'(o) - a_2 [y(o) + y'(o)t] \quad (1.2)$$

ეს არის ვოლტერის მეორე რიგის ინტეგრალური განტოლება,ის შეიძლება ჩაიწეროს შემოკლებით შემდეგნაირად

$$x(t) - \int_0^t K(t, y, S)x(S)ds = N(t), \quad (1.30)$$

სადაც $k(t, y, S) = -[a_1(y, t) + (t-S)a_2(y, t)]$ წარმოადგენს ინტეგრალური განტოლების ბირთვს, ხოლო $N(t) = c - a_1 y'(o) - a_2 [y(o) + y'(o)t]$.

თუ გამოვთვლით (1.30) ინტეგრალურ განტოლებას ტრაპეციის ფორმულის მიხედვით, მაშინ შეიძლება მივიღოთ რეკურენტული ფორმულა

$$x_n = \frac{N_n + \Delta t \left(\frac{x_0 k_{n,n}}{2} + x_1 k_{n,n-1} + \dots + x_{n-1} k_{n,1} \right)}{1 - \frac{\Delta t}{2} k_{n,0}}, \quad (1.31)$$

სადაც Δt -ინტეგრირების ბიჯი, n -ბიჯის რიგითი ნომერი, $x_n - t_n = n\Delta t$ დროის მომენტში x -ის მნიშვნელობა.

k ბირთვს გააჩნია ორი ინდექსი: პირველი მიეკუთვნება დროის მნიშვნელობას, რომლის დროსაც გამოითვლება a_1 და a_2 , ხოლო მეორე მიეკუთვნება $t_n - S$ სხვაობას.

რადგანაც $x = y''$, მაშინ ინტეგრირების გზით და ტრაპეციის ფორმულის გამოყენებით ვპოულობთ

$$y = \Delta t^2 \left[\frac{x_0 n}{2} + x_1(n-1) + x_2(n-2) + \dots + x_{n-1} \right] + y'(0)t_n + y(0) \quad (1.32)$$

x_n და y_n ანგარიში მიმდინარეობს პარალელურად, თანაც (1.32) ფორმულის მიხედვით გამოითვლება ერთი ბიჯის წინსწრებით.

(1.29) განტოლებიდან და რეკურენტული (1.31) და (1.32) ფორმულებიდან ჩანს, რომ i_d დენის განსაზღვრისათვის, როგორც დროის ფუნქცია აუცილებელია ამ დენის მნიშვნელობა და მისი წარმოებული სამფაზა მშ-ის რეჟიმში როცა $t = 0$. დენის მნიშვნელობა შეიძლება განისაზღვროს ნაკადუმბმის მუდმივობის პირობიდან მშ-ის მომენტში. (1.20) განტოლებიდან გვექნება

$$\begin{bmatrix} x_d + x_B & x_{ad} & x_{ad} \\ x_{ad} & x_f & x_{ad} \\ x_{ad} & x_{ad} & x_{kd} \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} i''_{do} \\ I''_{do} \\ I''_{kdo} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ x_{ad} i_{do} + x_f I_{do}^* \\ x_{ad} i_{do} + x_{ad} I_{do}^* \end{bmatrix}. \quad (1.33)$$

აქ i_{do} და I_{do}^* -დენების მნიშვნელობა მშ-მდე;

i''_{do}, I''_{do} და I''_{kdo} -დენების მნიშვნელობა სამფაზა მშ-ის რეჟიმში, როცა $t = 0$, თანაც $i''_{do} = y(0)$.

$Pi_{d(t=0)}$ დენის წარმოებულის განსაზღვრისათვის (1.20) განტოლებიდან ვპოულობთ

$$\begin{aligned} & \left(r_f + r_d - r_{kd} \frac{x_f - x_{ad}}{x_{kd} - x_{ad}} \right) I''_{do} - r_{kd} \frac{(x_d + x_B)(x_f - x_{ad})}{x_{ad}(x_{kd} - x_{ad})} i''_{do} - Pi_{d(t=0)} = \\ & \frac{-r_e \sqrt{(i''_{do})^2 + (i''_{qo})^2} + \Delta U^*}{x_d + x_B - x_{ad} + (x_f - x_{ad}) \frac{(x_d + x_B)x_{kd} - x_{ad}^2}{x_{ad}(x_{kd} - x_{ad})}} \end{aligned} \quad (1.34)$$

ვინაიდან ყველა დენი ცნობილია, მაშინ ვპოულობთ $Pi_{d(t=0)} = y'(0)$.

(1.31), (1.32) ფორმულები, ტოლია როგორც (1.33), (1.34), შეიცავს r_d და r_e , რომლებიც დამოკიდებულია იმაზე გარდამქმნელი გარე მახასიათებლის რომელ მონაკვეთზე მუშაობს. ამიტომ ანგარიშისათვის რეკურენტული (1.31) და (1.32) ფორმულების მიხედვით აუცილებელია ვიცოდეთ r_d და r_e .

გარე მახასიათებელი მოცემული პარამეტრების და რეგულირების კუთხის დროს დამოკიდებულია გამმართველის დენის I_d სიდიდეზე და კომუტაციის E_m ემპ-ის სიდიდეზე. გარდამავალ რეჟიმში აგზნების ძაბვის მაქსიმალური სიდიდის მიღებისათვის მიზანშეწონილია გვქონდეს ვენტილების ჩართვა დროის მომენტში, რომელიც შეესაბამება $\mathcal{U}_a = 0$ (არამართვადი რეჟიმი). ვინაიდან ემპ E_m გამოითვლება (1.14), მაშინ საკმარისია ვიპოვოთ I_d დენი. (1.20) განტოლებიდან შეიძლება მივიღოთ I_d დენისთვის შემდეგი გამოსახულება:

$$r_e \sqrt{i_d^2 + i_q^2} + \left(x_d + x_B - x_{ad} + \frac{(x_f - x_{ad})[x_{kd}(x_d + x_B) - x_{ad}^2]}{x_{ad}(x_{kd} - x_{ad})} \right) \frac{\Delta i_d}{\Delta t} +$$

$$I_d = \frac{r_{kd} \frac{(x_d + x_B)(x_f - x_{ad})}{x_{ad}(x_{kd} - x_{ad})} i_d - \Delta U^*}{r_f + r_d - r_{kd} \frac{x_f - x_{ad}}{x_{kd} - x_{ad}}} I_{a\delta}, \quad (1.35)$$

სადაც i_d ჩაისმება იმ დროის მომენტში, რომელშიც განისაზღვრება I_d , ხოლო Δi_d რიცხვში მიიღება დენის ნაზრდის საშუალო არითმეტიკული მნიშვნელობა, გრძივ ღერძში მოცემული დროის მომენტის წინ და მის შემდეგ.

ვიციოთ I_d, E_m , პარამეტრები და გარდამქმნელის სქემა, შეიძლება განისაზღვროს გარდამქმნელის მუშაობის რეჟიმი, შესაბამისად გარე მახასიათებლის მონაკვეთი, რომელიც შეესაბამება აღნიშნულ I_d და E_m მნიშვნელობებს. იმასთან დაკავშირებით, რომ ემპ E_m არ წარმოადგენს მუდმივ სიდიდეს, აქ განსაკუთრებით მოხერხებულია გამოვიყენოთ გარე მახასიათებელი ფარდობით ერთეულებში, რომელიც ამ შემთხვევაში არ იქნება დამოკიდებული E_m -ისგან. მაშინ დენი $I_d = x_\delta I_d / E_m$ გადაიზომება აბსიცთა ღერძზე და განვსაზღვრაოთ k_e და k'_R , ხოლო შემდეგ r_e და r_d .

თუ გარდამქმნელი გადადის გარე მახასიათებლის ერთი უბნიდან მეორეზე, მაშინ ასეთი გადასვლის მომენტში უნდა შეიცვალოს r_e და r_d სიდიდეები. ელიფსურ უბანზე მუშაობის დროს შემდეგ r_e და r_d სიდიდეები შეიცვლება წერტილების გადაადგილების მიხედვით, რომელიც შეესაბამება I_d და E_m პარამეტრების მიმდინარე მნიშვნელობებს გარე მახასიათებლების მიხედვით.

გარდამავალი რეჟიმის საწყის მომენტში დენები i''_{d0} , i''_{q0} და I''_{d0} ცნობილია. ამიტომ გარდამავალი რეჟიმის განსაზღვრა გარდამქმნელის მუშაობის დროს არ წარმოადგენს სიძნელეს.

**თავი II. ჰიდროგენერატორის სტატიკური მძლავრდენისა
ტირისტორული აგზნების სისტემაში სამფაზა მოკლე
შერთვის რეჟიმის ანალიზი**

**2.1. სამფაზა მოკლედ შერთვის დროს მიმდევრობითი ვოლტსამატი
ტრანსფორმატორის მოქმედების ეფექტურობა**

გარდამავალ რეჟიმში ტირისტორული თვითაგზნების სისტემის მოქმედების ეფექტურობა მიზანშეწონილია შევაფასოთ ფარდობით

$$A = \frac{P_{10} - P_1}{P_{10}}, \quad (2.1)$$

სადაც P_1 - ტირისტორული აგზნების სისტემის რეგულირების კუთხის ($\alpha \neq 0$), დროს გარდამავალი დენების მდგენელების მიღევის კოეფიციენტი, P_{10} - ტირისტორული აგზნების სისტემის რეგულირების კუთხის ($\alpha = 0$) დროს გარდამავალი დენების მდგენელების მიღევის კოეფიციენტი. თუ $A < 1$, მაშინ ის გვიჩვენებს, აგზნების გრაფილის წინააღობაში სიმძლავრის საერთო დანაკარგებიდან, რა ნაწილი იფარება გარდამქმნელის გარდამავალი რეჟიმის დროს. გარდამავალი დენები ამ შემთხვევაში იქნება მიღევადი. თუ $A = 1$, მაშინ ყველა დანაკარგი აგზნების გრაფილში დაიფარება გარდამქმნელით. გარდამავალი დენები 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.

თუ არ გავითვალისწინებთ დამამშვიდებელი სისტემის გავლენას P_1 მიღევის კოეფიციენტზე, ე.ი. შემოვიფარგლებით ძირითადი მნიშვნელობით P_1 [34], გვექნება

$$P_1 = -\frac{r_{\Sigma} x_a + x_B}{x_f x'_a + x_B}, \quad (2.2)$$

მაშინ (2.2)-ის ტოლობის შესაბამისად

$$A = \frac{r_f - r_e}{r_f} = \frac{r_e \frac{x_{ad}}{x_a + x_B} - r_d}{r_f};$$

r_e განისაზღვრება

$$r_e = \frac{2}{3} \left(x'_M + \frac{x_B}{k_{np}} \right) \frac{I_{a\delta}}{U_\delta} k_e,$$

ხოლო r_d განისაზღვრება

$$r_d = \frac{R_d}{\frac{U_{d\delta}}{I_{d\delta}}} = \frac{2}{3} \frac{R_d}{U_\delta i_\delta} I_{d\delta}^2,$$

მაშინ A –სათვის გვექნება

$$A = \frac{\frac{k_e}{b} \left(x'_M + \frac{x_B}{k_{np}} \right) - (k_R x_\delta + k_r r_\delta)}{R_f}, \quad (2.3)$$

$$\text{სადაც } b = \frac{x_d + x_B}{x_{ad}} \frac{I_{a\delta}}{i_\delta} \quad (2.4)$$

წინასწარი ანგარიშების დროს, შეიძლება მხედველობაში არ მივიღოთ აქტიური წინაღობა და მივიღოთ მიმდევრობითი ტრანსფორმატორის გრანვილის კავშირის კოეფიციენტი ერთის ტოლად. ამ შემთხვევაში მიმდევრობითი ტრანსფორმატორის ურთიერთ ინდუქციის ინდუქციური წინაღობა $x'_M = K x_{d1}$ (2.3)-ის ნაცვლად მივიღებთ

$$A = \frac{\frac{k_e}{b} \left(k x_{d1} + \frac{x_B}{k_{np}} \right) - k_R (k^2 x_{d1} + x_T)}{R_f}, \quad (2.5)$$

k_e და k_R კოეფიციენტები დამოკიდებულია იმაზე, თუ გამმართველი გარე მახასიათებლის რომელ უბანზე მუშაობს. გარე მახასიათებლის ერთი უბნიდან მეორეზე გადასვლის დროს, აუცილებელია გამოვიყენოთ k_e და k_R კოეფიციენტების ახალი მნიშვნელობები. გარე მახასიათებლის უბნის დადგენისათვის მოხერხებულია გამოვიყენოთ ტოლობა

$$I_d = \frac{x I_d}{E_m}$$

მხედველობაში მივიღოთ (1.14), (1.15) და (2.3), ვპოულობთ

$$I_d \approx b \frac{k^2 x_{d1} + x_T}{k x_{d1} + \frac{x_B}{k_{np}}} \quad (2.6)$$

მაგალითისთვის განვიხილოთ მიმდევრობითი ვოლტსამატი ტრანსფორმატორის მოქმედების ეფექტურობა ჰიდროგენერატორის თვითაგზნების ტირისტორული სისტემაში სიმძლავრით 73.3 მგვტ.

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. CBB780/190 – 32 ტიპის ჰიდროგენერატორის მიმდევრობითი ტრანსფორმატორის პირველადი გრაგნილის ინდუქციური წინაღობა შეადგენს 0,005-ს ან პროცენტებში 0,5%. ნომინალური მონაცემები და პარამეტრები ჰიდროგენერატორის შემდეგია:

$U_H = 13,8$ კვ, $I_H = 3.58$ კა, $n_H = 125$ ბრ/წთ, $\cos\varphi_H = 0,85$, $P_H = 73,3$ 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.

(1.6) და (1.7) გამოსახულებებიდან განვსაზღვრავთ დამოკიდებულებას k და k_{np} კოეფიციენტებს შორის. ამ შემთხვევაში საწყისი რეჟიმად მიღებულია ნომინალური; ფორსირების ჯერადობა k მიღებულია 2-ის ტოლად. მხედველობაში არ მიიღება შემაერთებელი კაბელების ინდუქციური წინაღობა და მიღებულია, რომ $\cos\varphi_H = 0,85$ და $\Delta U = 3$ ვ, k -ს ერთი მნიშვნელობისთვის, მაგალითად 5-ისთვის, გვექნება

$$454 + \frac{3}{\pi} (25 \cdot 0,00527 + 0,016) 1762 + 2 \cdot 3 = \frac{3\sqrt{6}}{\pi} E \cos\alpha,$$

$$E = \sqrt{\left(\frac{9090}{k_{np}} + 5 \cdot 0,00527 \cdot 0,53\right)^2 + (5 \cdot 0,0527 \cdot 0,85)^2},$$

$$\cos\alpha = 1 - \frac{\pi \cdot 454}{3\sqrt{6}E}$$

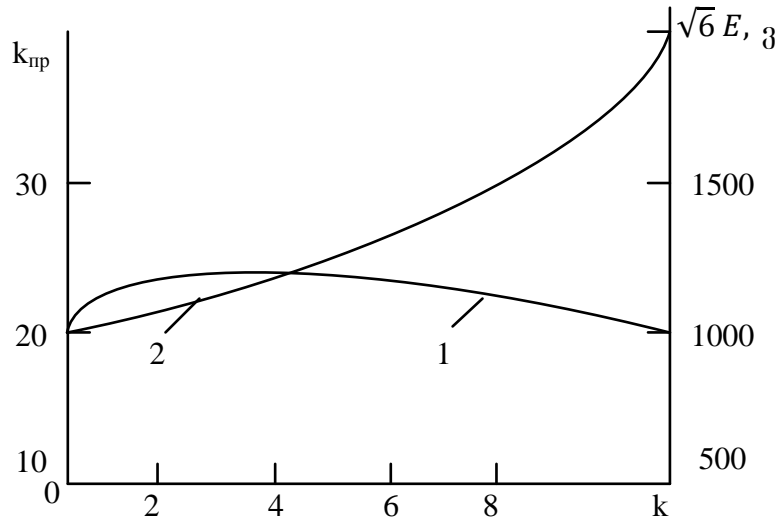
აღნიშნული ტოლობიდან ვიპოვიტ $k_{np} = 27,2$, $E = 497$ ვ, $\alpha = 52,5^\circ$. მხედველობაში უნდა მივიღოთ, რომ გამმართველი ტრანსფორმატორის ინდუქციური წინაღობა

$$x_T = \frac{13800}{\sqrt{3} \cdot 27,2 \cdot \sqrt{\frac{2}{3}} \cdot 1762} \cdot 0,07 = 0,0142 \text{ ომი.}$$

ანალოგიური ანგარიშის ჩატარების დროს k -ს მნიშვნელობისათვის 0-დან 10-მდე, მივიღებთ საძიებელ დამოკიდებულებას, ნაჩვენები ნახ.2.1. იქვე აგებულია ძაბვის ამპლიტუდის მრუდი, რომლის ზემოქმედებაში, შეიძლება იმყოფებოდეს ტირისტორული გამმართველის მხარი

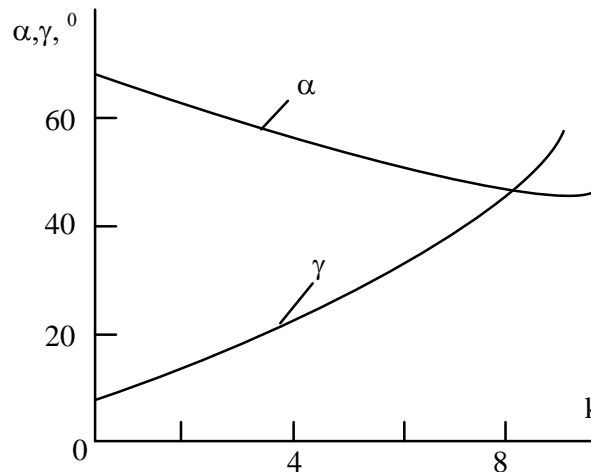
ნომინალურ რეჟიმში. მითითებული ძაბვა არსებითად იზრდება, როცა $k > 5$.

$$\cos(\alpha + \gamma) = \cos\alpha - \frac{2xI_d}{\sqrt{3}E_m} = \cos 52,5^\circ - \frac{2 \cdot 0,148 \cdot 1762}{\sqrt{6} \cdot 497},$$



ნახ.2.1. დამოკიდებულება $k_{np}(1)$ და $\sqrt{6} E (2)$ k -მნიშვნელობისაგან

ნახ. 2.2-ზე აგებულია დამოკიდებულება მართვის კუთხის α და კომუტაციის კუთხის γ, k -ს მნიშვნელობისგან.



ნახ.2.2. მართვის კუთხის α და კომუტაციის კუთხის γ დამოკიდებულება k -ზე.

გამმართველი ტრანსფორმატორის ტიპიური სიმძლვარე შეიძლება განისაზღვროს შემდეგი გამოსახულებით

$$S_T = \frac{1}{2}(S_{T1} + S_{T2}),$$

სადაც S_{T1} და S_{T2} - პირველადი და მეორადი გრაგნილების სრული სიმძლავრე.

პირველად გრაგნილზე ძაბვა წარმოადგენს სინუსოიდურს; ძაბვა მეორად გრაგნილზე დამახინჯებულია კომუტაციური პროცესებით. გვაქვს, რა ძაბვის მრუდი, შეიძლება გამოვთვალოთ U_{T2} -ს მომქმედი მნიშვნელობა. მივიღოთ მხედველობაში, ის რომ x_T მნიშვნელობა შედარებით არაა დიდი, სავარაუდო ანგარიშებისათვის შეიძლება ავიღოთ მეორადი ძაბვა სინუსოიდური.

$$U_{T2} \approx \frac{U_{\pi}}{\sqrt{3} k_{np}}$$

გამმართველი ტრანსფორმატორის მეორადი გრაგნილის მომქმედი დენის მნიშვნელობა განისაზღვრება გამოსახულებით

$$I \approx \sqrt{\frac{2}{3}} I_d$$

თუ აგზნების სისტემისთვის და ტრანსფორმატორისთვის არ მივიღებთ მხედველობაში დენის მიხედვით მარაგის კოეფიციენტს, მაშინ

$$S_T \approx m U_{T2} I,$$

სადაც m -ფაზათა რიცხვი

$k = 5$ შემთხვევისთვის გვექნება

$$S_T \approx 3 \frac{13800}{\sqrt{3} \cdot 27,2} \cdot \sqrt{\frac{2}{3}} 1762 = 1264 \text{ კვა}$$

ნახ. 2.3. აგებულია დამოკიდებულება S_T და k -ს შორის. მას გააჩნია მინიმუმი როცა $k = 5$.

მიმდევრობითი ვოლტსამატი ტრანსფორმატორის ტიპური სიმძლავრე განისაზღვრება შემდეგი სახით [35]:

$$S_{d1} = \frac{3}{4} A S_{d1} \left(1 + \frac{S_{d2}}{3 S_{d1}} \right),$$

სადაც S_{d1} და S_{d2} - პირველადი და მეორადი გრაგნილის სიმძლავრე, ტრანსფორმატორისთვის საჭაერო გაცივებით კოეფიციენტი A ტოლია $(0,62 \div 0,65) K_I$. აქ K_I -დენის გაჯერების ჯერადობა.

საანგარიშო ძაბვად მიიღება მეორადი გრაგნილის ძაბვა გამმართველის უქმი სვლის დროს და პირველადი ნომინალური დენის დროს [36].

სავსებით ბუნებრივია, რომ გამმართველის ნომინალურ რეჟიმში მუშაობის დროს, ძაბვის მომქმედი მნიშვნელობა მიიღება რამოდენიმე ნაკლები.

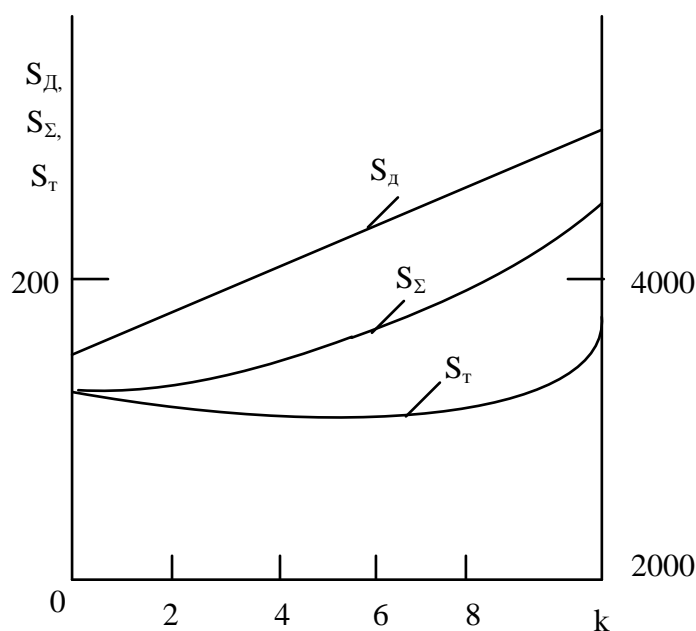
თუ მივიღებთ, რომ $K_I = 3$, $K = 5$ -ისათვის გვექნება

$$S_{d1} = 3 \cdot 8630^2 \cdot 0,00527 = 1177 \text{ კვ.ა,}$$

$$S_{d2} = 3 \cdot 8630 \cdot 5 \cdot 0,00527 \sqrt{\frac{2}{3}} 1762 = 981 \text{ კვ.ა,}$$

$$S_d = \frac{3}{4} 0,635 \cdot 3 \cdot 1177 \left(1 + \frac{981}{3 \cdot 1177}\right) = 2139 \text{ კვ.ა.}$$

დამოკიდებულება S_d და K შორის არის წრფივი (ნახ. 2.3). იმავე ნახაზზე ნაჩვენებია ტრანსფორმატორების ჯამური სიმძლავრე.



ნახ.2.3. მიმდევრობითი და გამმართველი ტრანსფორმატორების სიმძლავრეების დამოკიდებულება k -მნიშვნელობისაგან.

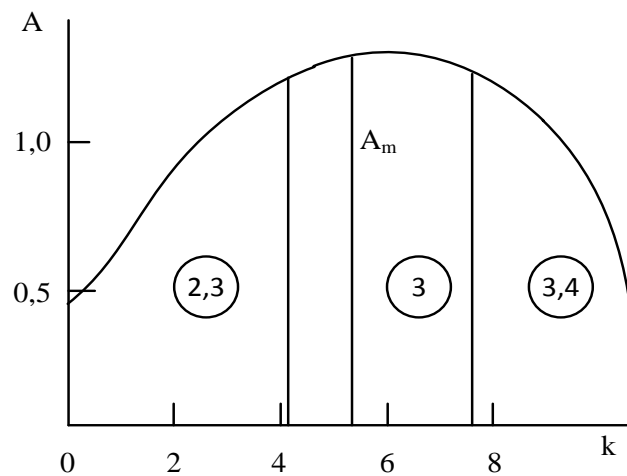
მიღებული დამოკიდებულებებიდან ჩანს, რომ S_Σ იწყებს სწრაფად ზრდას როცა $k > 5 \div 6$. შემდგომი ეტაპი ანგარიშის მდგომარეობს A -ს განსაზღვრაში. ამისათვის წინასწარ ვპოულობთ აუცილებელ პარამეტრებს (2.4) და (2.5)-ის მიხედვით. აგზნების გრაგნილის

ბაზისური დენი $I_{a\delta}$ განისაზღვრება მშ-ის სამკუთხედის ან რეაქტიული სამკუთხედის მიხედვით. სტატორის გრაგნილის ბაზისური დენი $i_\delta = \sqrt{2}I_H$.

ნახ. 2.4-ზე ნახვენებია დამოკიდებულება $A = f(k)$, რომლისგანაც შეიძლება გაკეთდეს მნიშვნელოვანი დასკვნა:

1) აგზნების სისტემის ეფექტურობა სამფაზა მშ-ის დროს გადამცემი ხაზის დასაწყისში მიიღწევა სამი ვენტის რეგითობითი 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 გვეკონდეს აგზნების სისტემის მაღალი ეფექტურობა.



ნახ.2.4. თვითაგზნების სისტემის მოქმედების ეფექტურობის კოეფიციენტის A დამოკიდებულება (სამფაზა მშ-ის რეჟიმში გადამცემი ხაზის დასაწყისში, როცა $x_{d1} = 0,5\%$) მიმდევრობითი ვოლტსამატი ტრანსფორმატორის ტრანსფორმაციის კოეფიციენტის k მნიშვნელობისაგან.

თუ გამმართველის გარე მახასიათებელი იქნებოდა წრფივი, მაშინ (2.5)-დან ვიპოვით მაქსიმუმის პირობას

$$\frac{dA}{dk} = \frac{k_e x_{D1}}{b} - 2k_r k x_{D1} = 0,$$

აქედან k -ს ოპტიმალური მნიშვნელობა იქნება

$$k_{\text{opt}} = \frac{k_e}{2bk_R}.$$

2.2. არასიმეტრიული მოკლე შერთვის დროს თვითაგზნებით ჰიდროგენერატორის მუშაობა

თვითაგზნების სისტემის შესწავლა არასიმეტრიული მშ-ის დროს მიმდინარეობს დაშვებით, რომ სისტემაში გვაქვს მიმდევრობითი ვოლტსამატი ტრანსფორმატორი. მოცემულ შემთხვევაში მნიშვნელოვანია ვიპოვოთ პირობა, რომლის დროსაც აღდგება ძაბვების სიმეტრია ვენტილურ გარდამქმნელზე, აგრეთვე განვიხილოთ განსაკუთრებულობა გენერატორის დამყარებული და გარდამავალი პროცესების ანგარიშისთვის არასიმეტრიული დაზიანების დროს.

ვინაიდან ფაზებში გვაქვს მცირე ძაბვა და დიდი დენები, მაშინ მიმდევრობითმა ვოლტსამატმა ტრანსფორმატორმა, შეიძლება გააუმჯობესოს ძაბვების სიმეტრია, მიყვანილი გარდამქმნელის ტრანსფორმატორთან. კომუტაციური პროცესები განისაზღვრება ძირითადად მიმდევრობითი ვოლტსამატი ტრანსფორმატორისა და გამმართველი ტრანსფორმატორის წინააღობებით. კომუტაციის პირველადი წრედის წინააღობა ახდენს შედარებით მცირე გავლენას კომუტაციურ პროცესზე. ამიტომ შეიძლება არ გავითვალისწინოთ არასიმეტრიულობის გავლენა პირველადი კომუტაციის წრედში მშ-ის დროს წინააღობის მნიშვნელობაზე, განპირობებული კომუტაციის კუთხით. ამ შემთხვევაში მიმდევრობით ვოლტსამატი ტრანსფორმატორის გავლენის ეფექტურობის განსაზღვრისათვის ძაბვების სიმეტრიის აღდგენისთვის საკმარისია ვიპოვოთ კომუტაციური ემპ-ის მნიშვნელობა.

არასიმეტრიული დაზიანების შემთხვევაში გენერატორის მუშაობის ანალიზი, მიზანშეწონილია ჩავატაროთ სიმეტრიული მდგენელთა მეთოდით.

იმასთან დაკავშირებით, რომ ამამაღლებელი ტრანსფორმატორი შეერთებულია სქემით სამკუთხედი - ვარსკვლავი, არასიმეტრიული მშ-ის დროს გადამცემ ხაზზე გენერატორის გრაგნილებში შეიძლება გაიაროს მხოლოდ პირდაპირი და უკუ მიმდევრობის დენებმა.

მიმდევრობითი ვოლტსამატი ტრანსფორმატორი ჩართულია იმგვარად, რომ ინდუქციური დენის დროს ძაბვა მეორად გრაგნილზე ამადლდეს, ე.ი. უნდა განხორციელდეს ნაწილობრივი ან სრული კომპენსაცია ძაბვის ვარდნისა გენერატორის ინდუქციურ წინაღობაში. უკუ მიმდევრობის სქემაში გენერატორი წარმოგვიდგება ინდუქციური წინაღობით x_2 , როცა ემძნულის ტოლია. ამიტომ ემძნ, ადრული მიმდევრობითი ტრანსფორმატორის მეორად გრაგნილში უკუ მიმდევრობის დენებით, იქნება შემხვედრად მიმართული ძაბვის ვარდნა გენერატორის წინაღობაში x_2 . თუ მეორადი გრაგნილები მიმდევრობითი ტრანსფორმატორების შეერთებულია გენერატორის გამომყვანებთან, მაშინ მათი ინდუქციური წინაღობები, ურთიერთ ინდუქციის და გენერატორის უკუ მიმდევრობის წინაღობა, ძაბვა გამმართველი ტრანსფორმატორის მომჭერებზე არ შეიცავს უკუ მიმდევრობის მდგენელებს, ე.ი. იქნება სიმეტრიული. ძაბვები მიიღება ტოლი და ადრული ერთმანეთის მიმართ 120⁰-ით. ამგვარად ძაბვების სიმეტრიის აღდგენისათვის აუცილებელია პირობის დაკმაყოფილება.

$$x'_M = x_2 \quad (2.7)$$

მიმდევრობითი ტრანსფორმატორების ჩართვის შემთხვევაში დაბალი ძაბვის მხარეზე საჭიროა ვენტილებზე ძაბვის სიმეტრიის აღდგენა. ამის მიღწევა შესაძლებელია პირობის დაკმაყოფილებით.

$$x'_M = \frac{x_2}{k_{np}} \quad (2.8)$$

მეორე მხრივ მხედველობაში უნდა მივიღოთ, რომ ასეთი სიმეტრიულობა ძაბვების, მიიღება მხოლოდ აქტიური წინაღობის გამორიცხვით გენერატორის პირველადი კომუტაციის წრედებში, რადგანაც წინააღმდეგ შემთხვევაში გვექნება ძაბვების ვარდნა არა მხოლოდ ინდუქციურ, არამედ აქტიურ წინაღობაში. მიმდევრობითი ტრანსფორმატორები ურთიერთ-ინდუქციის ხარჯზე წარმოქმნიან ემძნ, ადრულს $\pi/2$ კუთხით გენერატორის დენის მიმართ. შესაბამისად, მათ

არ შეუძლიათ კომპენსაცია ძაბვის ვარდნის აქტიურ წინაღობაში. ამ მდგომარეობას აქვს მნიშვნელობა მცირე სიმძლავრის გენერატორებისთვის.

მაგალითის სახით განვიხილოთ ორფაზა მშ-ის რეჟიმი მიწაზე გადამცემი ხაზის დასაწყისში, როცა გამორიცხულია კავშირი მიმდებენერგოსისტემასთან. მივიღოთ, რომ მიმდევრობითი ტრანსფორმატორი ჩართულია დაბალი ძაბვის მხარეზე. დაუშვათ, რომ გენერატორს გააჩნია დამოუკიდებელი აგზნება, ხოლო გარდამქმნელი მუშაობს უქმი სვლის რეჟიმში.

პირდაპირი და უკუ მიმდევრობის დენები მშ-ის წერტილში ტოლია [37].

$$I_{A1} = \frac{-jU_A}{x_1 + x_B + \frac{(x_2 + x_B)x_0}{x_2 + x_B + x_0}},$$

$$I_{A2} = -I_{A1} \frac{x_0}{x_2 + x_B + x_0},$$

სადაც U_A - მშ-ის წინ ამამაღლებელი ტრანსფორმატორის ფაზური ძაბვა მაღალი ძაბვის მხარეზე. x_B - ამამაღლებელი ტრანსფორმატორის ინდუქციური წინაღობა;

მშ-ის წერტილში პირდაპირი და უკუ მიმდევრობის ძაბვა ტოლია

$$U_{A1}^{(K)} = U_{A2}^{(K)} = jI_{A1} \frac{(x_2 + x_B)x_0}{x_2 + x_B + x_0}.$$

ტრანსფორმატორის დაბალი ძაბვის მხარეზე ძაბვის მნიშვნელობა შეიძლება მიღებული იქნეს $jx_B I_{A1}$ და $jx_B I_{A2}$ ძაბვის ვარდნების ჯამით და შემდგომ გამრავლებული პირდაპირი მიმდევრობის ვექტორები $-j$ -ზე, ხოლო უკუ მიმდევრობის ვექტორები $+j$ -ზე. მაშინ გენერატორის ფაზური ძაბვები და დენები მიიღებენ შემდეგ მნიშვნელობებს:

$$\left. \begin{aligned} \underline{U}_a &= jI_{a1} \left(x_B + \frac{x_B x_0}{x_2 + x_B + x_0} \right), \\ \underline{U}_b &= -\frac{1}{2} jI_{a1} \left(x_B + \frac{x_B x_0}{x_2 + x_B + x_0} \right) + \\ &\quad + \frac{\sqrt{3}}{2} I_{a1} \left[x_B + \frac{(x_B + 2x_2)x_0}{x_2 + x_B + x_0} \right], \\ \underline{U}_c &= -\frac{1}{2} jI_{a1} \left(x_B + \frac{x_B x_0}{x_2 + x_B + x_0} \right) - \\ &\quad - \frac{\sqrt{3}}{2} I_{a1} \left[x_B + \frac{(x_B + 2x_2)x_0}{x_2 + x_B + x_0} \right], \end{aligned} \right\} \quad (2.9)$$

$$\left. \begin{aligned} \underline{I}_a &= \underline{I}_{a1} \frac{x_2+x_B+2x_0}{x_2+x_B+x_0}, \\ \underline{I}_b &= -\frac{1}{2}\underline{I}_{a1} \frac{x_2+x_B+2x_0}{x_2+x_B+x_0} - \frac{\sqrt{3}}{2}j\underline{I}_{a1} \frac{x_2+x_B}{x_2+x_B+x_0}, \\ \underline{I}_c &= -\frac{1}{2}\underline{I}_{a1} \frac{x_2+x_B+2x_0}{x_2+x_B+x_0} + \frac{\sqrt{3}}{2}j\underline{I}_{a1} \frac{x_2+x_B}{x_2+x_B+x_0}, \end{aligned} \right\} \quad (2.10)$$

$$\text{სადაც } \underline{I}_{a1} = -j\underline{I}_{A1}$$

მიმდევრობითი ტრანსფორმატორების მეორადი გრაგნილები უნდა იყოს ჩართული ისე, რომ ემდ მათში დაემთხვეს ფაზის მიხედვით გენერატორის ემდ სამფაზა მშ-ის რეჟიმში. ასეთი პირობების მიხედვით ემდ მიმდევრობითი ტრანსფორმატორების მეორად გრაგნილებში ტოლია

$$\left. \begin{aligned} \underline{E}_{da} &= j\underline{I}_a x'_M = j\underline{I}_{a1} x'_M \frac{x_2+x_B+2x_0}{x_2+x_B+x_0} \\ \underline{E}_{db} &= j\underline{I}_b x'_M = -\frac{1}{2}j\underline{I}_{a1} x'_M \frac{x_2+x_B+2x_0}{x_2+x_B+x_0} + \\ &\quad + \frac{\sqrt{3}}{2}\underline{I}_{a1} x'_M \frac{x_2+x_B}{x_2+x_B+x_0}, \end{aligned} \right\} \quad (2.11)$$

$$\underline{E}_{dc} = -\frac{1}{2}j\underline{I}_{a1} x'_M \frac{x_2+x_B+2x_0}{x_2+x_B+x_0} - \frac{\sqrt{3}}{2}\underline{I}_{a1} x'_M \frac{x_2+x_B}{x_2+x_B+x_0}$$

ვოლტსამატი ტრანსფორმატორის მეორადი გრაგნილის მომჭერებზე ძაბვა U_d ტოლია გამმართველი ტრანსფორმატორის მეორადი გრაგნილის U_2 და აღნიშნული ტრანსფორმატორების მეორადი გრაგნილების $I x'_M$ ემდ-ის ჯამისა. მივიღოთ მხედველობაში, რომ $U_2 = U/k_{np}$, აგრეთვე (2.9) და (2.11), გვექნება

$$\left. \begin{aligned} \underline{U}_{da} &= j\underline{I}_{a1} \left[\frac{1}{k_{np}} \left(x_B + \frac{x_B x_0}{x_2+x_B+x_0} \right) + x'_M \frac{x_2+x_B+2x_0}{x_2+x_B+x_0} \right], \\ \underline{U}_{db} &= -\frac{1}{2}j\underline{I}_{a1} \left[\frac{1}{k_{np}} \left(x_B + \frac{x_B x_0}{x_2+x_B+x_0} \right) + x'_M \frac{x_2+x_B+2x_0}{x_2+x_B+x_0} \right] + \\ &\quad + \frac{\sqrt{3}}{2}\underline{I}_{a1} \left[\frac{1}{k_{np}} \left(x_B + \frac{(x_B+2x_2)x_0}{x_2+x_B+x_0} \right) + x'_M \frac{x_2+x_B}{x_2+x_B+x_0} \right], \\ \underline{U}_{dc} &= -\frac{1}{2}j\underline{I}_{a1} \left[\frac{1}{k_{np}} \left(x_B + \frac{x_B x_0}{x_2+x_B+x_0} \right) + x'_M \frac{x_2+x_B+2x_0}{x_2+x_B+x_0} \right] - \\ &\quad - \frac{\sqrt{3}}{2}\underline{I}_{a1} \left[\frac{1}{k_{np}} \left(x_B + \frac{(x_B+2x_2)x_0}{x_2+x_B+x_0} \right) + x'_M \frac{x_2+x_B}{x_2+x_B+x_0} \right]. \end{aligned} \right\} \quad (2.12)$$

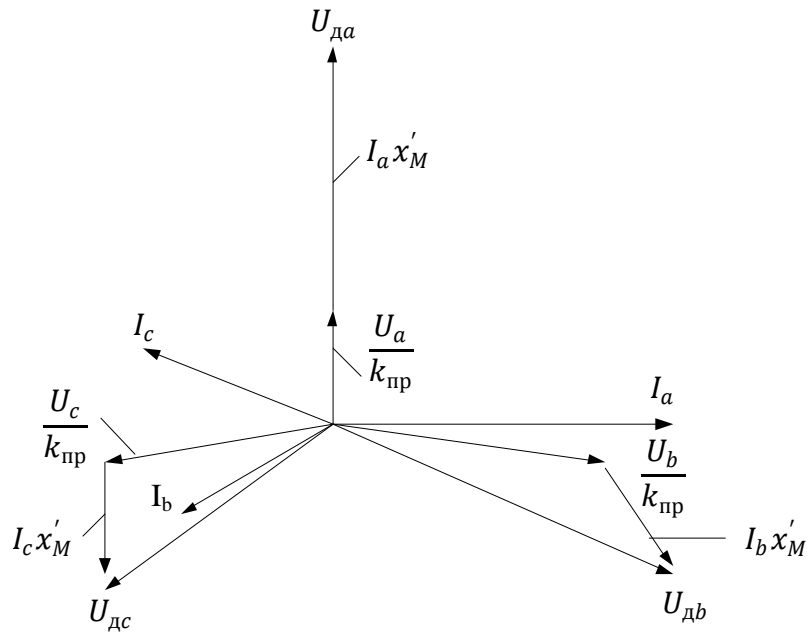
სამფაზა სიმეტრიული სისტემის მიღებისათვის აუცილებელია

$$\frac{1}{k_{np}} \left(x_B + \frac{x_B x_o}{x_2 + x_B + x_o} \right) + x'_M \frac{x_2 + x_B + 2x_o}{x_2 + x_B + x_o} =$$

$$= \sqrt{\frac{1}{4} \left[\frac{1}{k_{np}} \left(x_B + \frac{x_B x_o}{x_2 + x_B + x_o} \right) + x'_M \frac{x_2 + x_B + 2x_o}{x_2 + x_B + x_o} \right]^2 + \frac{3}{4} \left[\frac{1}{k_{np}} \left(x_B + \frac{(x_B + 2x_2)x_o}{x_2 + x_B + x_o} \right) + x'_M \frac{x_2 + x_B}{x_2 + x_B + x_o} \right]^2},$$

საიდანაც $x'_M = x_2/k_{np}$

(2.9)-(2.12) განტოლებების შესაბამისად აგებულია ძაბვებისა და დენების ვექტორული დიაგრამა (ნახ. 2.5):



ნახ.2.5. გადამცემი ხაზის დასაწყისში ორფაზა მშ-ის დროს მიწაზე ძაბვებისა და დენების ვექტორული დიაგრამა

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

რადგანაც გარდამქმნელი წარმოადგენს სიმეტრიულს, მაშინ სიმეტრიული სისტემის კომუტაციის ემძ-ის მიღებისათვის საკმარისია, რომ აგზნების გრაგნილზე მუშაობის დროს მის დენებსა და ძაბვებს ქონდეთ ერთნაირი ფორმა ყველა ფაზაში.

თუ მიმდევრობით ტრანსფორმატორს წაყენებული აქვს მოთხოვნა ადადგინოს ძაბვების სიმეტრია გარდამქმნელზე არასიმეტრიული დაზიანების დროს, მაშინ ტოლობა (2.8) შეიძლება განვიხილოთ როგორც ერთ-ერთი პირობა k , k_{np} და x_{A1} განსაზღვრისათვის.

გარდამქმნელის დაბების და დენების სიმეტრიის აღდგენის პირობა მიღებულია იმ დაშვებით, რომ არასიმეტრიული მშ-ის რეჟიმში სტატორის გრაფიკებში გადის მხოლოდ ძირითადი სისშირის დენები. მეორე მხრივ როტორის არასიმეტრიული ელექტრომაგნიტური პროცესების შედეგად სტატორის დენები წარმოადგენს არასინუსოიდურს; რის შედეგად აგზნების დენი მიიღება არა მუდმივი, არამედ პულსირებული. ეს მოვლენა განსაკუთრებით ძლიერ გამოიხატება ცხადპოლუსა გენერატორებში დამამშვიდებელი კონტურების გარეშე. თუ დამოუკიდებელ აგზნებიან სისტემაში დენების მაღალი რიგის ჰარმონიკების მდგენელების გავლენა შეიძლება გამოვლინდეს მხოლოდ როტორის მხრიდან, მაშინ თვითაგზნების სისტემაში ამ გავლენას ადგილი აქვს როგორც როტორის, ისე სტატორის მხრიდანაც.

ელექტრომაგნიტურმა არასიმეტრიულობამ შეიძლება უპირველეს ყოვლისა მიგვიყვანოს გენერატორის დაბვის ძლიერ დამახინჯებასთან. თვითაგზნების სისტემაში როტორის არასიმეტრიის არასასურველი გავლენა გარდამქმნელის მუშაობაზე ძლიერდება მიმდევრობითი ვოლტსამატი ტრანსფორმატორის შედეგად. რადგანაც ურთიერთ ინდუქციის ემპ პროპორციულია დენების წარმოებულის, მაშინ აღნიშნული დენების მაღალი რიგის ჰარმონიკების მდგენელებმა შეიძლება ძლიერ დაამახინჯოს ემპ, შესაბამისად ვენტილების დაბვა. აგზნების სისტემაში პულსირებული დენის გავლას გარდამქმნელის გავლით, მიყვარათ დაბვის დამახინჯების შემდგომ ზრდასთან. სტატორის დაბვის და დენის მრუდში მაღალი რიგის ჰარმონიკების მდგენელების არსებობა ქმნის დამატებით სიძნელეებს ვენტილების მართვის მოწყობილობის მუშაობაში. მოლიანობაში ყოველივე ეს წარმოშობს, გენერატორის თვითაგზნების სისტემაში დამამშვიდებელი კონტურების გარეშე, უფრო მძიმე პირობას, ვიდრე დამამშვიდებელი კონტურების არსებობის დროს. ამის ახსნა შეიძლება იმით, რომ დამამშვიდებელი კონტურის არსებობისას როტორის ელექტრომაგნიტური არასიმეტრიულობა ხდება შედარებით მცირე და დენების მაღალი რიგის ჰარმონიკების გავლენა გარდამქმნელის

მუშაობაზე არასიმეტრიული მშ-ის დროს პრაქტიკულად შეიძლება არ გავითვალისწინოთ. ამიტომ მიახლოებით შეიძლება მივიღოთ, რომ გენერატორებისთვის დამამშვიდებელი კონტურებით შესაძლებელია გარდამქმნელის ძაბვის და დენის სიმეტრიის აღდგენა. გამართული ძაბვის საშუალო მნიშვნელობა განისაზღვრება გარდამქმნელის გარე მახასიათებლებით.

რაც შეეხება გენერატორს დამამშვიდებელი სისტემის გარეშე, აქ შეიძლება განვიხილოთ მხოლოდ მიახლოებით ძაბვების სიმეტრიულობა და ანგარიშებში გამოვიყენოთ გარე მახასიათებლები, განსაზღვრული დენების მაღალი რიგის ჰარმონიკების გათვალისწინების გარეშე.

განვიხილოთ გარდამქმნელის მუშაობის განსაკუთრებულობა, როცა ადგილი აქვს ძაბვების არასრულ სიმეტრიულობას, რომელიც აღიძვრება იმ შემთხვევაში, როცა არაა შესრულებული (2.7) და (2.8) პირობა. რადგანაც მშ-ის დროს თვითაგზნების სისტემას უნდა ქონდეს ჩვეულებრივ მაღალი გამართული ძაბვის მნიშვნელობა, მაშინ მიიღება, რომ გარდამქმნელი მუშაობს $\alpha = 0$ მართვის კუთხით.

გამართული ძაბვის საშუალო მნიშვნელობას განვსაზღვრავთ რეჟიმში, რომელიც შეესაბამება გამმართველის უქმ სვლას და გენერატორის აგზნების გრაგნილის კვებას დამოუკიდებელი კვების წყაროდან. ამ შემთხვევაში დაუშვებთ, რომ მიმდევრობითი ტრანსფორმატორი ჩართულია მაღალი ძაბვის მხარეზე და გამმართველი ტრანსფორმატორი შეერთებულია \angle/\angle სქემით.

გარდამქმნელის მუშაობის დროს აგზნების გრაგნილზე გამართული ძაბვა მცირდება აგზნების დენის მნიშვნელობის მიხედვით. აგზნების ძაბვა გარე მახასიათებლის პირველ მონაკვეთზე მუშაობის დროს იქნება.

$$U_d = k_e E_{mcp} - K_R x_\delta I_d - 2\Delta U, \quad (2.13)$$

სადაც

$$E_{mcp} = U'_{mg, \text{л.ср}} / \sqrt{3}.$$

გარე მახასიათებელი (2.13), როგორც პირობა ძაბვების სიმეტრიისა, დაახლოებით სამართლიანია გენერატორის აგზნების სისტემისათვის დამამშვიდებელი სისტემით. გენერატორისთვის დამამშვიდებელი

სისტემის გარეშე (2.13) განტოლება შეიძლება გამოყენებული იქნეს მიახლოებითი ანგარიშებისათვის. არასიმეტრიული მშ-ის შემთხვევაში ძაბვა გენერატორის მომჭერებზე მიიღება უფრო მეტი, ვიდრე სამფაზა მშ-ის დროს. ეს ქმნის მნიშვნელოვან დადებით პირობას არასიმეტრიულ რეჟიმში თვითაგზნებისთვის, შედარებით სამფაზა მშ-ის რეჟიმთან. გარდა ამისა გარდამქმნელი არასიმეტრიული დაზიანების დროს აღმოჩნდება ნაკლებად მძიმე რეჟიმში, ვიდრე სამფაზა მშ-ის დროს. აღნიშნული მოვლენა აიხსნება კომპუტაციური ემძ-ის გაზრდით და აგზნების დენის გაზრდის შემცირებით მშ-ის რეჟიმში.

არსებით განსაკუთრებულობას არასიმეტრიული მშ რეჟიმისა, წარმოადგენს ის, რომ გენერატორი ინარჩუნებს კავშირს მიმღებ ენერგოსისტემასთან. თვითაგზნებით სინქრონული გენერატორის გარდამავალი პროცესების ანგარიშის განსაკუთრებულობის შესწავლის მიზნით, არასიმეტრიული დაზიანების დროს განვიხილავთ მარტივ შემთხვევას, როცა:

1. ერთი სადგური მუშაობს გადამცემ ხაზზე მძლავრ მიმღებ ენერგოსისტემასთან, 2. გენერატორის სიჩქარე მუდმივია; 3. მხედველობაში არ მიიღება გენერატორის დენების მაღალი რივის ჰარმონიკების მდგენელები, დამამშვიდებელი კონტურების გავლენა და სტატორის წრედის აქტიური წინაღობა. ამ პირობებში ძირითადი განტოლებებიდან პირდაპირი მიმდევრობის დენებისა და ძაბვებისათვის მივიღებთ:

$$\begin{bmatrix} -(x_d + x_B + x_n) & -x_{ad} \\ x_{ad}P & r_f + x_fP \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} i_d \\ I_d^* \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} U_q \\ U_d^* \end{bmatrix}, \quad (2.14)$$

სადაც, ნახ. 2.6-ის თანახმად

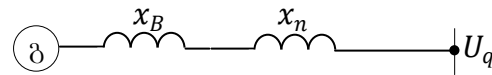
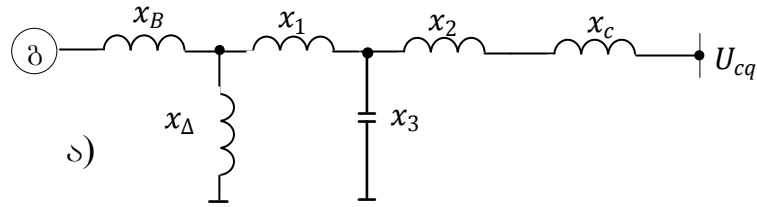
$$x_n = \frac{x_\Delta x_4}{x_\Delta + x_4}, x_4 = x_1 + \frac{x_3(x_2 + x_c)}{x_3 + x_2 + x_c};$$

$$U_q = \frac{U'_{cq} x_\Delta}{x_\Delta + x_4}, U'_{cq} = \frac{U_{cq} x_3}{x_3 + x_2 + x_c},$$

U_{cq} - ენერგოსისტემის სალტის ეკვივალენტური ძაბვა გენერატორის განივი ღერძის მიხედვით, i_d - სტატორის გრაგნილის პირდაპირი მიმდევრობის დენი, x_c - ეკვივალენტური წინაღობა გადამცემი ხაზის ბოლოებს და ენერგოსისტემის ეკვივალენტურ

საღტეს შორის. x_{Δ} - დამატებითი ინდუქციური წინაღობა (დამოკიდებულია მშ-ის სახეობაზე).

გამართული ძაბვის საშუალო მნიშვნელობა წარმოადგენს ზოგად შემთხვევაში გენერატორის ფაზური ძაბვების და დენების ფუნქციას, აგრეთვე I_d^* დენის.



ბ)

ნახ.2.6. ელექტროგადაცემის ჩანაცვლების სქემა:

ა) - საწყისი, ბ) - გარდაქმნილი

მშ-ის წერტილში პირდაპირი მიმდევრობის დენი და ძაბვა.

$$I_{A1}^{(K)} = \frac{U'_{cq}}{j(x_{\Delta} + x_4)} + I_{a1} \frac{x_4}{x_{\Delta} + x_4},$$

$$\underline{U}_{A1}^{(K)} = jI_{A1}^{(K)} x_{\Delta},$$

სადაც $I_{a1} = i_d$

გენერატორის პირდაპირი მიმდევრობის ძაბვა

$$\underline{U}_{a1} = \underline{U}_{A1}^{(K)} + jI_{a1} x_B.$$

მშ-ის წერტილში უკუ მიმდევრობის დენი შეიძლება გამოვსახოთ პირდაპირი მიმდევრობის დენით. მათ შორის თანაფარდობა დამოკიდებულია დაზიანების სახეობაზე. მაგალითად ერთფაზა და ორფაზა მშ-ის დროს $I_{A2}^{(K)} = I_{A1}^{(K)}$ და $I_{A2}^{(K)} = -I_{A1}^{(K)}$. უკუ მიმდევრობის დენი

$$I_{a2} = -I_{A2}^{(K)} \frac{x_4}{x_2 + x_B + x_4}.$$

აქ ტრანსფორმატორზე გადასვლის დროს, რომლის შეერთების სქემაა სამკუთხედი - ვარსკვლავი, უკუ მიმდევრობის დენების

ვექტორები მობრუნებულია 180^0 -ით. გენერატორის უკუ მიმდევრობის დაბვა

$$\underline{U}_{a2} = \underline{U}_{A2}^{(K)} + jI_{a2}x_B.$$

ვიციოთ, რა დაბვა და დენები პირდაპირი და უკუ მიმდევრობის, ვპოულობთ ფაზურ დაბვებს,

$$\underline{U}_a = \underline{U}_{a1} + \underline{U}_{a2}, \underline{U}_b = a^2\underline{U}_{a1} + a\underline{U}_{a2}, \underline{U}_c = a\underline{U}_{a1} + a^2\underline{U}_{a2} \quad (2.15)$$

ანალოგიურად ვპოულობთ გენერატორის ფაზურ დენებს. დენების განსაზღვრის შემდეგ ვღებულობთ ემძ მიმდევრობითი ტრანსფორმატორის მეორად გრაგნილებში

$$\underline{E}_{\Delta a} = j\underline{L}_a x'_M, \underline{E}_{\Delta b} = j\underline{L}_b x'_M, \underline{E}_{\Delta c} = j\underline{L}_c x'_M \quad (2.16)$$

(2.15)-ის მიხედვით განსაზღვრულ გენერატორის ფაზურ დაბვებს გაეყოფთ k_{np} -ზე და შევაჯამებთ მიმდევრობითი ტრანსფორმატორის ემძ-ებთან განსაზღვრულს 2.16 ფორმულით. შედეგად მივიღებთ მიმდევრობითი ტრანსფორმატორის გამომყავნებზე ფაზურ დაბვებს. შემდეგ ვპოულობთ ხაზური დაბვების საშუალო მნიშვნელობებს $U'_{\Delta, \Delta, cp}$ და, ბოლოს E_{cp} და E_{mcp} .

(2.13)-ის შესაბამისად დაბვა U_d^* განტოლებაში (2.14) შეიძლება წარმოვიდგინოთ შემდეგი სახით

$$U_d^* = k_e E_{mcp}^* - r_a I_d^* - 2\Delta U^*.$$

რადგანაც ზოგად შემთხვევაში დამოკიდებულება E_{mcp}^* , i_d დენისგან წარმოადგენს არაწრფივს, მაშინ (2.14) განტოლების ამოხსნისათვის მიზანშეწონილია გამოვიყენოთ რიცხვითი ინტეგრირების მეთოდი.

ეილერის მეთოდის გამოყენებით გვექნება

$$\left. \begin{aligned} \Delta I_{d(n)}^* &= \left(\frac{k_e E_{mcp}^* - 2\Delta U}{r_a + r_f} - I_{d(n-1)}^* \right) P_1 \Delta t, \\ I_{d(n)}^* &= I_{d(n-1)}^* + \Delta I_{d(n)}^*, \quad i_{d(n)} = \frac{U_d - x_{ad} I_{d(n)}^*}{x_d + x_B + x_n}, \end{aligned} \right\} \quad (2.17)$$

$$\text{სადაც } P_1 = \frac{r_a + r_f}{x_f} \frac{x'_d + x_B + x_n}{x_d + x_B + x_n}$$

I_{do}^* და i_{do}^* დენების საწყის მნიშვნელობებს ვპოულობთ ნაკადშეხმის მუდმივობის პირობიდან. (2.14) განტოლებიდან გვაქვს

$$I_{do}^{*'} = \frac{x_f I_{do}^{*'} + x_{ad} i_{do} - \frac{x_{ad}}{x_d + x_B + x_n} U_q}{x_f - \frac{x_{ad}^2}{x_d + x_B + x_n}}, \quad (2.18)$$

$$i_{do}' = -\frac{x_{ad} I_{do}^{*'} - U_q}{x_d + x_B + x_n}$$

$I_{do}^{*'}$ დენის მიღებული მნიშვნელობა უნდა იქნეს გამოყენებული (2.17) ტოლობაში დროის პირველი ინტერვალისთვის ($n = 1$).

თუ მივიღებთ, რომ გენერატორის სიჩქარე არაა მუდმივი, მაშინ ანგარიში მნიშვნელოვნად რთულდება, რადგანაც აუცილებელია გავითვალისწინოთ კუთხის ცვლილება პოლუსების განივი დერძსა და ენერგოსისტემის მიმღები ეკვივალენტური საღტის ძაბვას შორის. ამ შემთხვევაში გარდამავალი პროცესების ანგარიში მოხერხებულია ჩავატაროთ ისე, როგორც ის სრულდება დინამიკური მდგრადობის დროს [38]. გენერატორი წარმოგვიდგება ფაქტიური ემძ-ით E_d და ინდუქციური წინაღობით x_q . ჯერ გამოითვლება დენები და ძაბვები პირდაპირი და უკუ მიმდევრობის, შემდეგ გენერატორის ძაბვა და დენები, მიმდევრობითი ტრანსფორმატორის ემძ, ფაზური და ხაზური ძაბვები მოღებული გამმართველზე და ბოლოს, E_{mcp} . ამის შემდეგ ვპოულობთ გარდამავალი ემძ-ის E_d' მნიშვნელობას. E_d ახალ მნიშვნელობას გამოვთვლით გენერატორის ელექტრომაგნიტურ მომენტსა და ტურბინის მომენტს შორის სხვაობით, $\Delta\theta$ კუთხის ცვლილებით და ა.შ.

აღნიშნულ ანგარიშებში აგზნების ემძ-ად მიღებულია

$$E_{de} = \frac{k_e E_{mcp} - 2\Delta U}{U_{dx}}$$

სადაც U_{dx} -აგზნების ძაბვა, რომლის დროს სტატორის გრაგნილში უქმი სვლის რეჟიმში მიიღება ნომინალური ძაბვა. გარდამავალ პროცესში დროის მუდმივა

$$T_d' = T_{do}' \frac{R_f}{R_f + k_R x_\delta + k_r r_\delta}$$

სავსებით ბუნებრივია, რომ არასიმეტრიული მშ-ის დროს გარდამავალი პროცესების ანგარიში მნიშვნელოვნად მარტივდება, თუ მიმდევრობითი ტრანსფორმატორები აღადგენენ კომპუტაციის ემძ-ის

სიმეტრიას. აქ საკმარისია განისაზღვროს გენერატორის მხოლოდ ერთი ფაზის ძაბვა და დენი.

კვების სიმეტრია ქმნის დადებით პირობას ვენტილების მართვის მოწყობილობის მუშაობისათვის.

2.3. თვითაგზნება მიმდევრობითი ვოლტსამატი ტრანსფორმატორის გამოყენების გარეშე

როგორც წინა პარაგრაფში აღნიშნული იყო, ვენტილების ძაბვის სტაბილიზაციისთვის მშ-ის დროს გამოიყენება მიმდევრობითი ვოლტსამატი ტრანსფორმატორი. ვინაიდან პირველადი და მეორადი გრაგნილების დენები განსხვავდებიან, მაშინ ასეთი ტრანსფორმატორი უნდა განხორციელდეს გახსნილი მაგნიტური წრედით, რაც ართულებს მის კონსტრუქციას და ზრდის ღირებულებას. გარდა ამისა, აუცილებელია ვოლტსამატი ტრანსფორმატორის მეორადი გრაგნილების მიმდევრობითი შეერთება გენერატორის ნულოვან გამომყვანებთან სალტების საშუალებით, რაც ართულებს გენერატორის პირველადი კომუტაციის წრედების შესრულებას. ამასთან დაკავშირებით გამარტივებული აგზნების სისტემა მიმდევრობითი ტრანსფორმატორების გარეშე პოულობს ფართო გამოყენებას.

თვითაგზნების სისტემა ვოლტსამატი ტრანსფორმატორის გარეშე ხასიათდება შემდეგი თვისებებით:

1. გენერატორის დინამიკური მდგრადობის გარკვეული სიდიდით დადაბლება;

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

2.4. ფორსირებისა და განაგზნების პროცესები

გენერატორის დინამიკური მდგრადობის ამალღებისათვის აუცილებელია აგზნების ფორსირება არა მხოლოდ მშ-ის დროს, არამედ მისი შეწყვეტის შემდეგაც, როცა მიმდინარეობს θ კუთხის ზრდა. სწრაფმომქმედი აგზნება იძლევა საშუალებას მივიღოთ ინტენსიური დემფირება გენერატორის როტორის რხევისა ავარიის შემდგომ რეჟიმში. ეს მიიღწევა ცვალებადი ფორსირებით და განაგზნებით. კომუტაციური ემდ ფორსირების და განაგზნების დროს შეიძლება გავიანგარიშოთ ფორმულით

$$E_m = \sqrt{2} \sqrt{\left(\frac{U}{k_{np}} + Ix'_m \sin\varphi\right)^2 + (Ix'_m \cos\varphi)^2},$$

სადაც $\varphi - U$ და I შორის კუთხე.

ამ შემთხვევაში აუცილებელია ვიცოდეთ გენერატორის ძაბვა, დენი და მათ შორის ფაზური კუთხე, რადგანაც ეს სიდიდეები იცვლება დროში რხევებით, აქ არ შეიძლება დაუშვათ გენერატორის ბრუნვის სიჩქარის მუდმივობა. ამიტომ ძაბვებისა და დენების ანგარიში მიზანშეწონილია შევასრულოთ მიმდევრობითი ინტერვალების მეთოდით.

2.5. ასინქრონული რეჟიმის, თვითსინქრონიზაციის და რესინქრონიზაციის განსაკუთრებულობა

მიმდევრობითი ვოლტსამატი ტრანსფორმატორის არსებობა იწვევს ზოგიერთ განსაკუთრებულობას ასინქრონულ, სინქრონიზაციის და რესინქრონიზაციის რეჟიმებში. ეს დაკავშირებულია იმასთან, რომ მიმდევრობითი ტრანსფორმატორის ძაბვა ემატება გამმართველი ტრანსფორმატორის ძაბვას გეომეტრიულად. გენერატორის გადასვლის დროს რეაქტიული სიმძლავრის მოთხოვნის რეჟიმში, მიმდევრობითი ტრანსფორმატორის ძაბვა აკლდება გამმართველი ტრანსფორმატორის ძაბვას. შედეგად მცირდება გამართული ძაბვა. მხედველობაში უნდა გვქონდეს, რომ სქემაში ორჯგუფიანი ვენტილებით, ძაბვის ასეთი შემცირება მიმდინარეობს ფორსირების ჯგუფზე.

თავი III. ჰიდროგენერატორის სტატიკური მძლავრდენისა ტირისტორული აგზნების სისტემაში ელექტრომაგნიტური პროცესები

3.1. ელექტრომაგნიტური პროცესების განსაკუთრებულობა

თუ სინქრონული გენერატორს უნდა ქონდეს აგზნების ფორსირების ამადლებული ჯერადობა, მაშინ მართვადი გარდამქმნელი იმუშავებს დიდი რეგულირების კუთხეებით. ამას თან სდევს რეაქტიული სიმძლავრის მნიშვნელოვანი გაზრდა რის შედეგად ტრანსფორმატორების და დამხმარე სინქრონული გენერატორების ტიპიური სიმძლავრე იზრდება.

ტიპიური სიმძლავრის შემცირება, შეიძლება მიღწეული იქნეს ორი პარალელურად ჩართული ვენტილების ჯგუფის სქემების გამოყენებით, არასიმეტრიული მართვის გამოყენებით, ნულოვანი ვენტილების ჩართვით, იმპულსური მართვის გამოყენებით. ბოლო შემთხვევაში მთავარი გენერატორის ძაბვისგან დამოკიდებულებაში გამმართველი იკეტება ან სრულად იღება. ქვემოთ განვიხილოთ სხვადასხვა მართვადი სქემები და სქემები ნულოვანი ვენტილებით.

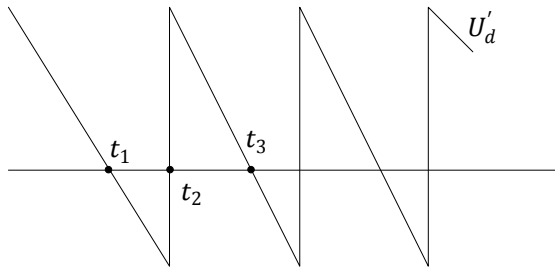
გარდამქმნელები ფორსირების რეჟიმში უნდა მუშაობდეს სრული გამართული ძაბვით, რაც უზრუნველყოფილია მისი გადაყვანით სიმეტრიული მართვის რეჟიმში. ამიტომ საკმარისია განვიხილოთ გარდამქმნელის მოქმედება შემცირებული სიმძლავრით ნორმალურ რეჟიმში. ამ შემთხვევაში საკმარისია გამოვიყენოთ გარდამქმნელის გარე მახასიათებლის საწყისი უბანი.

აგზნების ერთჯგუფიანი სქემის სიმეტრიული მართვის და ფორსირების ამადლებული ჯერადობის შემთხვევაში, გამართული ძაბვას გააჩნია ხერხისებრი ფორმა (ნახ.3.1.) $t_1 - t_2$ დროის ინტერვალში ძაბვა მიიღება უარყოფითი. ეს აღნიშნავს, რომ გამართული დენი აქ მიმართულია შემხვედრად კვების წყაროს ემპ-ის მიმართ. ამიტომ სავსებით ბუნებრივია მისწრაფება დამატებითი გზების შექმნისათვის, რომელშიც დენს შეეძლება გაიაროს მოცემული დროის ინტერვალში.

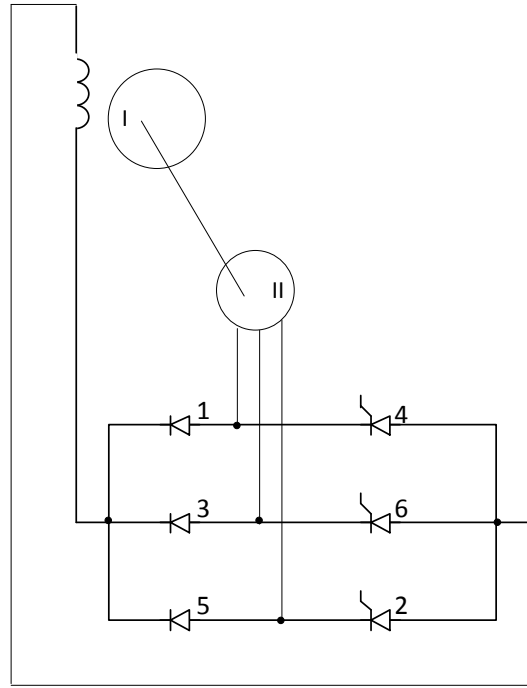
ასეთი გზები შეიძლება შეიქმნას ბოგირულ სქემაში დენის გავლის შესაძლებლობების გამოყენება, გენერატორის გრაგნილების გამორიცხვით (ნახ. 3.2), ან დამატებითი (ნულოვანი ან ბუფერული) ვენტილების გამოყენება (ნახ. 3.3). პირველი მეთოდი მოხერხებულია იმით, რომ ის არ მოითხოვს დამატებით ვენტილებს. ამ შემთხვევაში 1,3 და 5 ვენტილებს გააჩნია ერთი კუთხე რეგულირების, ხოლო 2,4 და 6 ვენტილებს - მეორე კუთხე.

ელექტრომაგნიტური პროცესების შემდეგ სახეს მიეკუთვნება ისეთი პროცესები, რომლებიც დაკავშირებულია გამმართველის ძაბვაზე, გამართული დენის ცვლადი მდგენელების გავლენასთან. ასეთ პროცესებს ადგილი აქვს მთავარ გენერატორზე მშ-ის დროს.

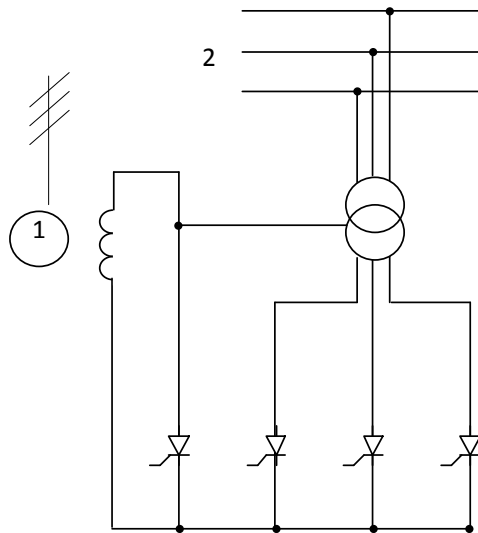
მთავარი გენერატორის სიმეტრიული მშ-ის დროს სტატორის წრედში წარმოიქმნება აპერიოდული დენები, ხოლო როტორის კონტურში მისი შესაბამისი ძირითადი სიხშირის (50ჰც) ცვლადი დენები. არასიმეტრიული მშ-ის შემთხვევაში როტორის კონტურში აღიძვრება სხვა სიხშირის დენებიც, რომლისგანაც ძირითად მნიშვნელობას გააჩნია ორმაგი სიხშირე, გამოწვეული უკუ მბრუნავი მაგნიტური ნაკადებით. ამგვარად, მთავარი გენერატორის ავარიული რეჟიმების დროს გარდამქმნელის მუდმივი დენის წრედში გაივლის პულსირებული დენი. ამისათვის აუცილებელია გაირკვეს, როგორ მოქმედებს ცვლადი მდგენელი, მუდმივ დენზე, გარდამქმნელის მუშაობაზე, პირველ რიგში მის გარე მახასიათებელზე. ბუნებრივია, რომ ეს გავლენა იქნება მნიშვნელოვანი გენერატორში დამამშვიდებელი სისტემის გარეშე, სადაც პულსაცია გამოვლინდება დიდი ფორმით. ცხადპოლუსა გენერატორში დამამშვიდებელი სისტემით პულსაცია მნიშვნელოვნად მცირდება. პულსაციის გავლენა გამართული ძაბვის საშუალო მნიშვნელობაზე დამოკიდებულია აგრეთვე გარდამქმნელის ცვლადი დენის წრედის წინააღობაზე.



ნახ. 3.1. ამოდლებული ფორსირების
ჯერადობის დროს გამართული
ძაბვა ($\gamma=0$)



ნახ. 3.2. აგზნება გაწონასწორებული
მართვადი სქემით
I – მთავარი გენერატორი,
II – დამხმარე გენერატორი



ნახ. 3.3.. ნულოვანი ვენტილებით და სამფაზა
გამმართველით აგზნების სქემა. 1-გენერატორი;
2-გამმართველის კეება სადგურის საკუთარი
მოსხარების სისტემიდან

სპეციფიკურ ელექტრომაგნიტურ მოვლენას მიეკუთვნება აგრეთვე მაღალსიხშირული რხევები გარდამქმნელის წრედში, გამოწვეული ვენტილების კომუტაციით და ელექტრული წრედის გაწყვეტით. სიხშირის სიდიდე ძირითადად დამოკიდებულია კვების წყაროს ტევადობისგან და ინდუქციურობისაგან და $R - C$ წრედებისაგან, რომლებიც აშუნტებენ ნახევრადგამტარულ ვენტილებს. ამ შემთხვევაში არსებით ინტერესს წარმოადგენს ძაბვების განაწილება ცხადპოლუსა გენერატორის როტორის კოჭას გასწვრივ. აგზნების წრედში გამმართველის არსებობა გამორიცხავს შესაძლებლობას მის გავლით უკუ მიმართულების დენის გავლისა, თუმცა ასეთი რეჟიმებს ექსპლუატაციაში აქვს ადგილი და ის აუცილებელია გავითვალისწინოთ ნახევრადგამტარული აგზნების სისტემის პროექტირების დროს. კერძოდ აგზნების დაკარგვის დროს და გენერატორის გადასვლისას ასინქრონულ რეჟიმში, დროის ინტერვალში, როცა აგზნების დენს არ შეუძლია გაიაროს უკუ მიმართულებით, როტორის გრაგნილზე შეიძლება წარმოიშვას ამალღებული ძაბვა. ამიტომ გადამეტაბვის პრობლემას, მათ ანგარიშ და დაცვის დანაყენის არჩევას აქვს დიდი პრაქტიკული მნიშვნელობა.

გადამეტაბვის და მაღალსიხშირული რხევის არსებობა აგზნების წრედში გამმართველით, მოითხოვს განსაკუთრებულ ყურადღებას როგორც გენერატორის როტორის გრაგნილის, ასევე როტორის წრედში ჩართული გამმართველების, დამხმარე გენერატორების და ტრანსფორმატორების გამოსაცდელი ძაბვის სიდიდის დადგენაში,

3.2. არასიმეტრიული მართვის სქემა

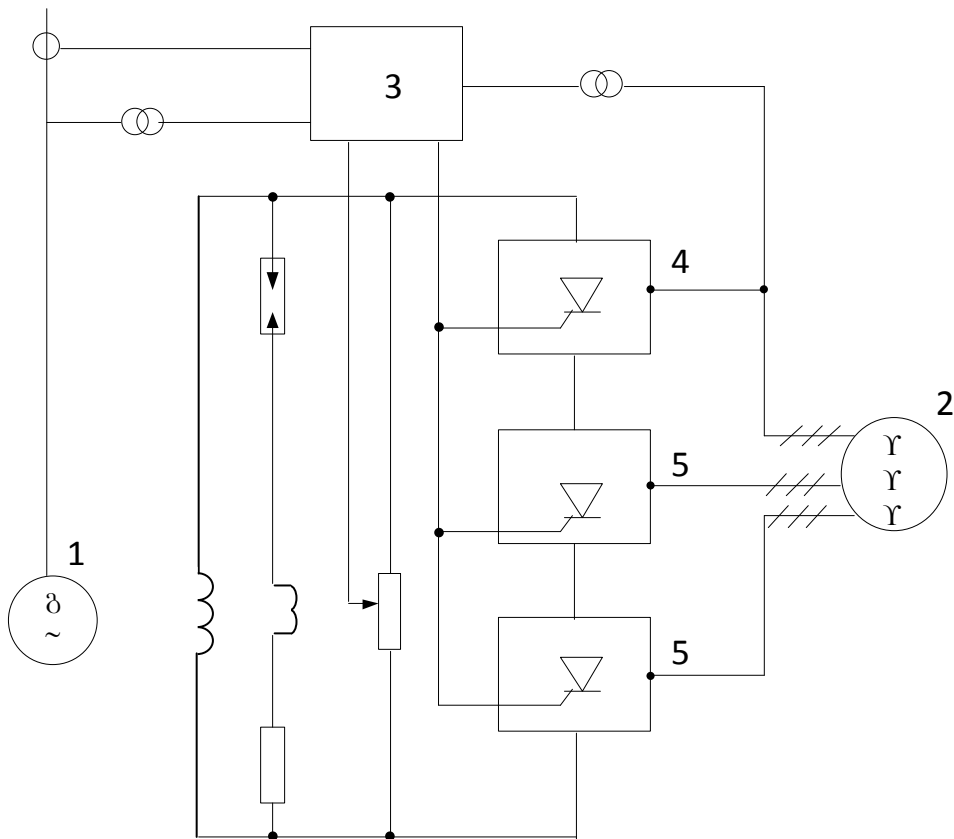
არასიმეტრიული მართვის სქემის უპირატესობა მდგომარეობს იმაში, რომ ტიპური სიმძლავრის შემცირებისათვის, არაა საჭირო ძვირადღირებული საშუალება, რადგანაც პრობლემა მოცემულ შემთხვევაში გადაიჭრება მხოლოდ მართვის სისტემის გართულებით. უარყოფით მხარეს წარმოადგენს ფაზური დენების მრუდების ფორმის

დამახინჯება, რომელიც აიხსნება ლუწი ჰარმონიკების მდგენელების გამოვლენაში. აღნიშნული ვითარების გამოსწორება, შეიძლება მიღწეული იქნეს გარდამქმნელის სქემის გართულებაში, რაც ხორციელდება პარალელურად შეერთებული მარტივი გამმართველებით და გამათანაბრებელი რეაქტორების საშუალებით [39,40]. არასიმეტრიული მართვა სრულდება ბოგირულ სქემაში, სადაც არაა საჭირო სისშირის გარდაქმნა მართვის მოწყობილობის კვებისათვის. აგზნების სისტემისათვის ასეთი მართვა იყო შემოთავაზებული ე. ეტინგერის მიერ.

არასიმეტრიული მართვის ნაკლოვანებას წარმოადგენს, ის რომ გამმართველის ცვლადი დენის მხარეზე იქმნება არა მხოლოდ კენტი, არამედ ლუწი ჰარმონიკების მდგენელები.

ნახ.3.4 მოცემულია ჰიდროგენერატორის აგზნების სისტემა, სადაც გამოყენებულია არასიმეტრიული მართვის სქემა. აგზნების სისტემა წარმოადგენს დამოუკიდებელს, დამხმარე სინქრონული გენერატორით საერთო დერძით მთავარ აგრეგატთან. გამმართველის სქემა კასკადურია, შედგება სამი მიმდევრობით შეერთებული ტირისტორული გამმართველისაგან.

დამხმარე სინქრონულ გენერატორს გააჩნია სამი სინფაზური სტატორის გრაგნილი ტოლი ძაბვებით, ჩართული შესაბამისი გამმართველებთან. გამმართველი 4 სიმეტრიული მართვით, უზრუნველყოფს ჰიდროგენერატორის ნორმალურ რეჟიმში მუშაობას. ორი ერთნაირი გამმართველი 5 არასიმეტრიული მართვით გადადის მუშაობაზე მართვის კუთხეებით, ახლოს ნულთან ფორსირების რეჟიმში, უზრუნველყოფს ფორსირების ჯერადობას $K = 4$. ნომინალური აგზნების დროს, ნორმალურ რეჟიმში გამმართველები არასიმეტრიული მართვით მუშაობენ ისეთი მართვის კუთხით, როცა გამმართველის საშუალო გამართული ძაბვა მიიღება ნომინალურის 10-15%. ამ შემთხვევაში არსებითად მცირდება სტატორის ორი გრაგნილის ფაზური დენების მომქმედი მნიშვნელობები, შესაბამისად, მთლიანად დამხმარე გენერატორის ტიპური სიმძლავრის.



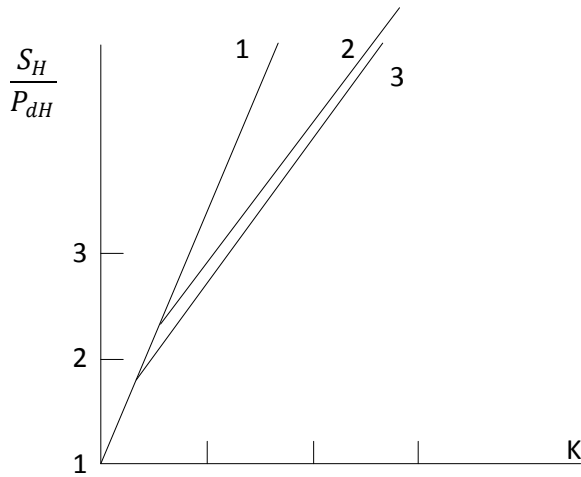
ნახ.3.4. ჰიდროგენერატორის აგზნების სისტემის პრინციპული სქემა
 1- ჰიდროგენერატორი, 2 - დამხმარე გენერატორი,
 3- აგზნების ავტომატური რეგულატორი (არ),
 4 - გამმართველი სიმეტრიული მართვით,
 5 - გამმართველი არასიმეტრიული მართვით.

ტიპიური სიმძლავრე დამხმარე სინქრონული გენერატორის ან გამმართველი ტრანსფორმატორის, როცა $x = 0$ ტოლია

$$\frac{S_H}{P_{dH}} = \frac{\pi}{\sqrt{6}} K \sqrt{\frac{\pi - \alpha}{\pi}},$$

$$\cos \alpha = \frac{2 - K}{K}, \quad \alpha \geq \frac{\pi}{3},$$

სადაც P_{dH} - სინქრონული მანქანის აგზნების ნომინალური სიმძლავრე. შესაბამისი დამოკიდებულება მოცემულია ნახ. 3.5.



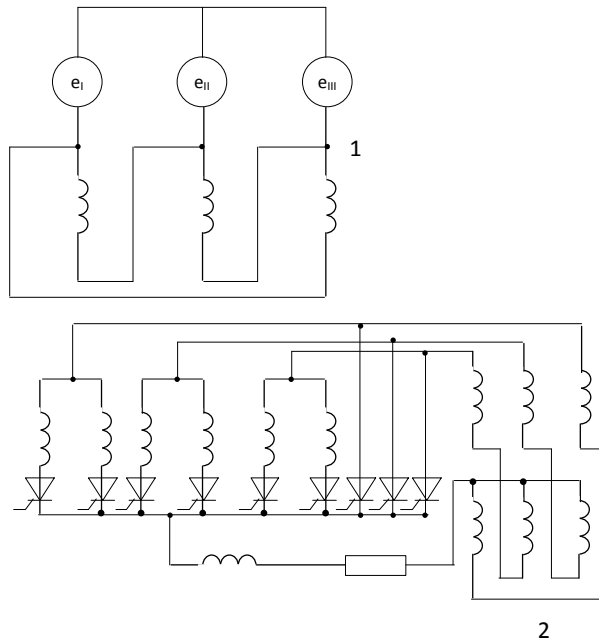
ნახ.3.5. აგზნების ფორსირების ჯერადობის დამოკიდებულება ტიპური სიმძლავრისაგან:
 1- სამფაზა ბოგირული სქემა, 2 - არასიმეტრიული მართვით,
 3 - ნულოვანი ვენტილებით.

3.3. სქემები ნულოვანი ვენტილებით

ნახ.3.6. გარდამქმნელი აწყობილია ექვსფაზა სქემით, სამფაზა გამათანაბრებელი რეაქტორით და ნულოვანი ვენტილებით. აგზნების ამ სისტემაში მიიღება გამმართველი ტრანსფორმატორის საუკეთესო გამოყენება, გარე და მარეგულირებელი მახასიათებლების ნაკლები დახრით, გამართული ძაბვის ნაკლები პულსაციით, უკუ ძაბვის ნახტომისებური ზრდის გამორიცხვით.

ნულოვანი ვენტილები უზრუნველყოფენ გამართული დენის გავლას, გარდა გამმართველისა, დროის იმ ინტერვალში, რომლის დროსაც გამართული ძაბვის მყისი მნიშვნელობა ხდება უარყოფითი. ასეთი პირობა აღიძვრება აგზნების სისტემის მართვის გაზრდილი კუთხეების მუშაობის დროს, აგრეთვე ვენტილების გამორთვის დროს. ბოლო შემთხვევაში იგულისხმება, რომ ფაზაში ან ბოგირული სქემის მხარში გამოიყენება ერთი ვენტილი.

გამართული დენის გავლის შესაძლებლობა ნულოვანი ვენტილის გავლით მუშაობის რეჟიმში ამაღლებული მართვის კუთხეებით, იწვევს გამართული ძაბვის საშუალო მნიშვნელობის გაზრდას და კვების წყაროს სიმძლავრის შემცირებას.



ნახ.3.6. თვითაგზნების ტირისტორული სისტემა ნულოვანი ვენტილებით და ექვსფაზა სქემით სამფაზა გამათანაბრებელი რეაქტორით:
 1- ექვსფაზა ტრანსფორმატორი, 2- სამფაზა გამათანაბრებელი რეაქტორი

განვიხილოთ სამფაზა სქემა ნულოვანი ვენტილით (ნახ.3.7).

$t_2 - t_3$ დროის ინტერვალში i დენი, პირიქით, გადადის 1 ვენტილიდან ნულოვან ვენტილზე. რადგანაც კომუტაცია იწყება მომენტში, როცა ემ $e_1 = 0$, მაშინ გვექნება არამართვადი რეჟიმი.

ამიტომ (3.1) და (3.2)-ის ნაცვლად მივიღებთ

$$I_d = \frac{E_m}{x} (1 - \cos\gamma_2), \quad i = \frac{1 - \cos\omega t}{1 - \cos\gamma_2} I_d$$

ვენტილების კომუტაციის დროს გამართული ძაბვა ტოლია ნულის (ზუსტად, $-\Delta U$). ამიტომ ნახ. 3.7, ბ ვპოულობთ

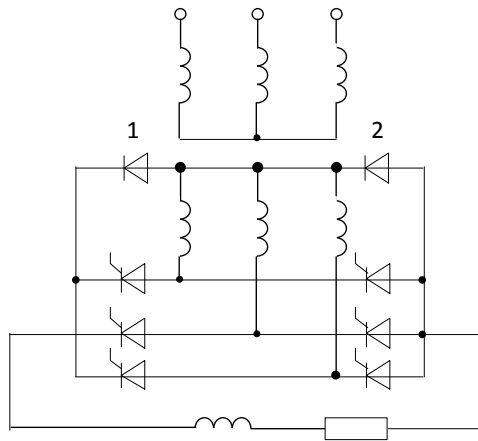
$$U'_d = \frac{3}{2\pi} E_m \int_{\alpha + \gamma_1 + \frac{\pi}{6}}^{\pi} \sin\left(\omega t + \alpha + \frac{\pi}{6}\right) d\omega t$$

$$= \frac{3}{2\pi} E_m \left[1 + \cos\left(\alpha + \gamma_1 + \frac{\pi}{6}\right) \right]. \quad (3.3)$$

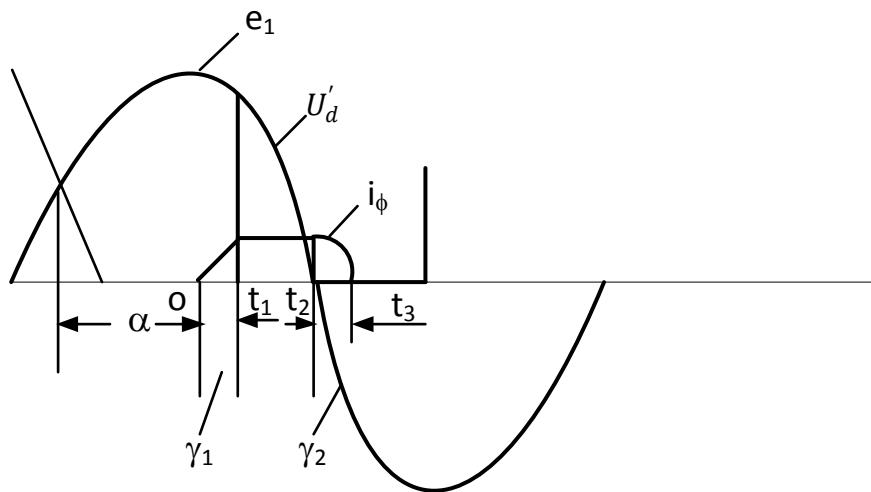
(3.2) და (3.3)-დან ვღებულობთ გარე მახასიათებლის განტოლებას

$$U'_d = \frac{3}{2\pi} E_m \left[1 + \cos\left(\alpha + \frac{\pi}{6}\right) \right] - \frac{3}{2\pi} x I_d \quad (3.4)$$

ა)



ბ)



ნახ.3.7. სამფაზა ბოგირული სქემა ორი ნულოვანი ვენტილით 1,2 (ა), ფაზური დენი და გამართული ძაბვა სამფაზა სქემაში ნულოვანი ვენტილით (ბ)

აქტიური წინაღობის გავლენას გამართული ძაბვის მნიშვნელობაზე აქვს ადგილი მხოლოდ $t_1 - t_2$ ინტერვალში. ამიტომ საბოლოო გამოსახულება გარე მახასიათებლის იქნება

$$U_d' = \frac{3}{2\pi} E_m \left[1 + \cos \left(\alpha + \frac{\pi}{6} \right) \right] - \frac{3}{2\pi} \left[x + \left(\frac{5}{6} \pi - \alpha - \gamma_1 \right) r \right] I_d.$$

სამფაზა ბოგირული სქემის შემთხვევაში შესაძლებელია ორი მეთოდი ნულოვანი ვენტილების ჩართვის: 1. ნულოვანი ვენტილი ჩაირთვება გამართველის გამომყვანზე, 2. ჩაირთვება ორი ნულოვანი

ვენტილი ანოდური და კათოდური ჯგუფისათვის (ნახ. 3.7, ა). პირველი სქემა ნაკლებად ეფექტურია კვების წყაროს განტვირთვის თავალსაზრისით, შედარებით მეორესთან. ეს აიხსნება იმით, რომ სქემაში ერთი ნულოვანი ვენტილით მიმდინარეობს გამმართველის დაშუნტება მოკლე დროის ინტერვალში, ხოლო სქემაში ორი ნულოვანი ვენტილით იმავე რეგულირების კუთხით დაშუნტების ხანგრძლივობა მნიშვნელოვნად იზრდება. რის შედეგად მიმდინარეობს გამართული ძაბვის საგრძნობი გაზრდა.

ბოგირულ სქემაში მუშა და ნულოვანი ვენტილების მონაცვლეობითი მუშაობის რეჟიმისათვის გამართული ძაბვის საშუალო მნიშვნელობა ორმაგდება შედარებით მარტივ სამფაზა სქემასთან. ამიტომ (3.4)-ის ნაცვლად გვექნება

$$U'_d = \frac{3}{\pi} E_m \left[1 + \cos \left(\alpha + \frac{\pi}{6} \right) \right] - \frac{3}{\pi} x I_d$$

აუცვლებელია ავღნიშნოთ, რომ ნულოვან ვენტილად დიოდის გამოყენების შემთხვევაში გარდამქმნელი მიიღება უფრო მარტივი. ასეთი სქემის ნაკლოვანებას წარმოადგენს ის, რომ შეუძლებელია გარდამქმნელის გადასვლა ინვერტორულ რეჟიმში. ინვერტორული რეჟიმის მიღებისათვის, აუცილებელია ნულოვან ვენტილად გამოვიყენოთ ტირისტორი, რომელიც იკეტება მართვის სისტემით ინვერტირების დროს. ნახ. 3.7, ბ-დან გამომდინარეობს, რომ დენის გავლის ხანგრძლივობა კვების წყაროს ფაზის მიხედვით, როცა კუთხე $\alpha \geq \pi/6$ შეადგენს $(5\pi/6) - \alpha$ (იგულისხმება, რომ $\gamma_1 = \gamma_2 = 0$).

$$S_H = m \frac{K U_{dH}}{\frac{\pi}{3} \sqrt{3}} \sqrt{\frac{5\pi}{6} - \alpha},$$

$$\text{საიდანაც } \frac{S_H}{P_{dH}} = \frac{\pi}{\sqrt{6}} K \sqrt{\frac{5}{6} - \frac{\alpha}{\pi}}$$

შეპირისპირება დამოკიდებულებების (ნახ.3.4) გვიჩვენებს, რომ ორივე განხილული მეთოდი, კვების წყაროს ტიპიური სიმძლავრის შემცირების, იძლევა დაახლოებით ერთი და იგივე შედეგს. გარდა ამისა ნახ. 3.4-დან ჩანს, რომ მოცემული მეთოდების გამოყენება S_H -ის

შემცირებისთვის, მიზანშეწონილია აგზნების ფორსირების ჯერადობის ამადლების დროს.

34. წრედის ცვლადი მდგენელების გავლენა ცვლადი დენის ძაბვაზე

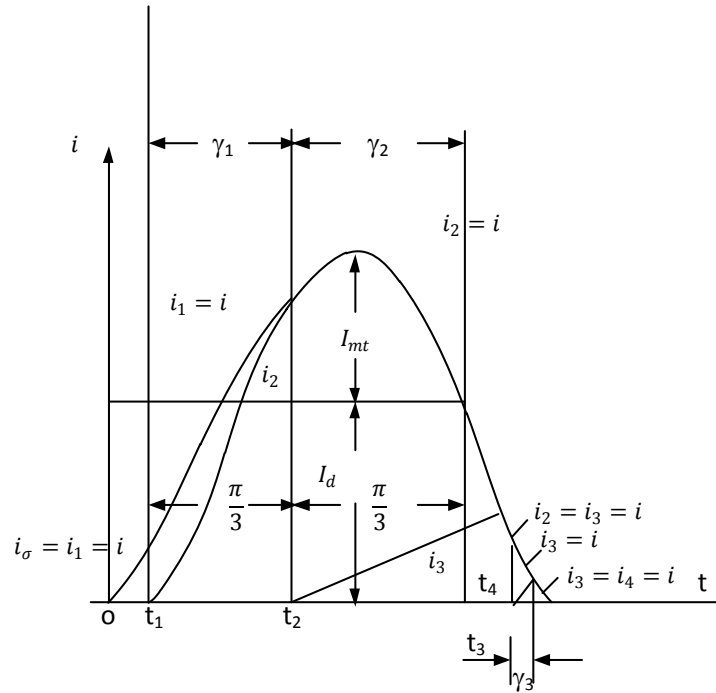
მთავარი გენერატორის სიმეტრიული მშ-ის დროს სტატორის წრედში გამოვლინდება აპერიოდული დენები, ხოლო როტორის კონტურში - მათი შესაბამისი ძირითადი სიხშირის (50ჰც) ცვლადი დენები არასიმეტრიული მშ-ის შემთხვევაში როტორის კონტურში გამოვლინდება დენები სხვა სიხშირის, რომელთა შორის ძირითადი მნიშვნელობა გააჩნია ორმაგ სიხშირეს, გამოწვეულს უკუ მბრუნავი მაგნიტური ნაკადებით. ამგვარად, მთავარი გენერატორის ავარიული რეჟიმის დროს გარდამქმნელის მუდმივი დენის წრედში გადის პულსირებული დენი. ამიტომ აუცილებელია გავარკვიოთ, როგორ ზემოქმედებს გამართული დენის ცვლადი მდგენელი გარდამქმნელის მუშაობაზე, პირველ რიგში მის გარე მახასიათებელზე. სავსებით ბუნებრივია, რომ ეს გავლენა იქნება მაქსიმალური გენერატორში დამამშვიდებელი სისტემის გარეშე, სადაც პულსაცია გამოვლინდება მაქსიმალური ფორმით. ცხადპოლუსა გენერატორში დამამშვიდებელი სისტემით დენის პულსაცია მნიშვნელოვნად მცირდება. ეს შემცირება დამოკიდებულია აგზნების გრაფილის პარამეტრების და დამამშვიდებელი სისტემის კონტურის პარამეტრების თანაფარდობაზე. პულსაციის გავლენა გამართული ძაბვის საშუალო მნიშვნელობაზე დამოკიდებულია აგრეთვე, გარდამქმნელის ცვლადი დენის წრედის წინააღობაზე.

მაგალითისათვის განვიხილოთ დენის ორმაგი სიხშირის გავლენა, გარდამქმნელის ბოგირული სქემაში გამართული ძაბვის მნიშვნელობაზე.

რადგანაც გამართული დენი წარმოადგენს პულსირებულს და გააჩნია ორმაგი სიხშირე, მაშინ სრული კომპუტაციური ციკლი მოიცავს მოცემულ შემთხვევაში ძირითადი სიხშირის ნახევარ პერიოდს. ეს ციკლი უნდა დაიყოს დროის რიგი ინტერვალებით, რომლის ხანგრძლივობაში შესწავლილი ელექტრული წრედი, წარმოადგენს

წრფივს. მივიღოთ, რომ მართვად ძაბვას გააჩნია საკმარისი სიგანე და მიეწოდება დაუმახინჯებელი ემძ-ის გადაკვეთის მომენტში, რასაც შეესაბამება $\alpha = 0$. მართვადი ძაბვების მიწოდების მომენტი ავლნიშნოთ t_1, t_2 და t_3 (ნახ. 3.8). დაუშვათ ფაზური კუთხე გამართული დენის ნომინალური მნიშვნელობასა და 2 ვენტილის ჩართვის მომენტს შორის ტოლი იქნება ψ . მაშინ

$$i = I_a - I_{mf} \cos 2(\omega t + \psi)$$



ნახ.3.8. $\gamma_1, \gamma_2, \gamma_3$ კომუტაციის კუთხეების განსაზღვრა

თუ t_1 მომენტში სქემა გადადის სამ-სამი ჯგუფის ვენტილების მუშაობის რეჟიმში, მაშინ $t_1 - t_2$ დროის ინტერვალისთვის ვპოულობთ

$$x \frac{di_1}{d\omega t} + x \frac{di_2}{d\omega t} + U'_d = e_1 - e_3,$$

$$x \frac{di_1}{d\omega t} + x \frac{di_6}{d\omega t} + U'_d = e_1 - e_2,$$

$$i_1 = i, i_2 + i_6 = i$$

აქედან

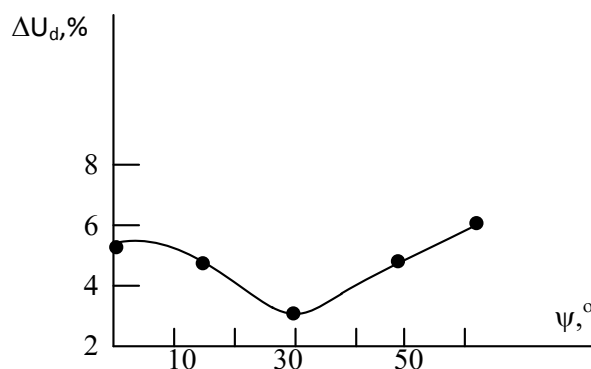
$$U'_d = \frac{3}{\sqrt{2}} E \cos \omega t - 3xI_{mf} \sin 2(\omega t + \psi),$$

$$i_2 = -\sqrt{\frac{3E}{2x}} \cos \omega t - \frac{1}{2} I_{mf} \cos 2(\omega t + \psi) + C,$$

სადაც C ინტეგრირების მუდმივა განისაზღვრება პირობიდან $i_2(t=t_1) = 0$. კომუტაციის კუთხეს ვპოულობთ ტოლობიდან $i_2 = i$. შემდეგ გადავდივართ დროის შემდგომ ინტერვალზე და ა.შ. ვიცით, რა ხანგრძლივობა დროის ცალკეული ინტერვალების და გვაქვს U'_d გამოსახულება, შეგვიძლია ვიპოვოთ გამართული ძაბვის საშუალო მნიშვნელობა ნახევარ პერიოდში. ვადარებთ მიღებულ მნიშვნელობას U'_d მნიშვნელობასთან გარე მახასიათებლიდან როცა $i = I_d$ და განვსაზღვრავთ ფარდობითი ცდომილებას, რომელიც მოგვიწოდებს შევაფასოთ დენების ცვლადი მდგენელების გავლენა გამართული ძაბვის საშუალო მნიშვნელობაზე.

ნახ. 3.9. მოცემულია ფარდობითი ცდომილება სხვადასხვა ფაზური ψ კუთხის სიდიდის დროს. ანგარიშის შესაბამისად ჩანს, რომ i დენის ცვლადი მდგენელი გამოსახულია უფრო ძლიერად ($I_{mf} = I_d$). გარდა ამისა, მიღებული იქნა, რომ ცვლადი დენის წრედს გააჩნია მნიშვნელოვანი ინდუქციური წინაღობა (მუდმივი დენის რეჟიმში $i = I_d, \gamma = 60^\circ$).

მოცემული ანგარიშებიდან გამომდინარეობს, რომ ასეთი შედარებით მძიმე პირობა, როგორცაა:



ნახ.3.9. გამართული ძაბვის საშუალო მნიშვნელობის განსაზღვრის ცდომილების მრუდი

1.დენის ცვლადი მდგენელი ორმაგი სიხშირით გამოხატულია შედარებით ძლიერად ($I_{mf} = I_d$), 2. ცვლადი დენის წრედს გააჩნია

მნიშვნელოვანი ინდუქციური წინაღობა (მუდმივი დენის რეჟიმში $\gamma = 60^\circ$), 3.გარდამქმნელი მუშაობს არამართვად რეჟიმში, ცვლადი მდგენელის გავლენა გარე მახასიათებელზე მიიღება მცირე, - გამართული ძაბვის საშუალო მნიშვნელობა იცვლება ფაზის დენის ცვლადი მდგენელის ფარდობით კვების წყაროს ძაბვასთან 2-4%-ით. ექსფაზა სქემაში სამფაზა გამათანაბრებელი რეაქტორით, მის გარეშე ცვლადი მდგენელის გავლენა გამართული ძაბვის საშუალო მნიშვნელობაზე მიიღება მეტი, ვიდრე სამფაზა სქემაში და აღწევს 12-15%-ს.

თავი IV. რეგულირებად ჰიდროგენერატორში გარდამავალი ელექტრომაგნიტური პროცესები

4.1. ჰიდროგენერატორში რეგულირების ამოცანები

ნახ.1.1. მოცემულია რეგულირებადი ჰიდროგენერატორი ტირისტორული აგზნების სისტემით.

სინქრონული მანქანებისათვის დამახასიათებელს წარმოადგენს დიდი შიდა წინაღობა, რომელიც იწვევს ძაბვის დადაბლებას მის მომჭერებზე დატვირთვის გაზრდის დროს და სიმძლავრის შეზღუდვას პარალელური მუშაობის დროს მდგრადობის პირობის მიხედვით.

შიდა რეაქტიული წინაღობის კომპენსაცია მიიღწევა აგზნების რეგულირების საშუალებით, რეჟიმული Π სიდიდეების ამა თუ იმ გადახრების ფუნქციით. რეგულირების ასეთმა სახემ შეიძლება უზრუნველყოს ძაბვის მუდმივობა ან მისი რამოდენიმედ გაზრდა გენერატორის მომჭერებზე ან სადგურის შემკრებ სალტეზე, როცა ადგილი აქვს დატვირთვის ცვლილებას ფართო დიაპაზონში.

რეგულირებადი ჰიდროგენერატორის განსაკუთრებულობას წარმოადგენს ის, რომ მისი ე.მ.ძ. წარმოადგენს ფუნქციას რეჟიმული Π სიდიდეების გადახრების ფუნქციის:

$$e_d = K(P)\Delta\Pi, \quad (4.1)$$

სადაც e_d - მანქანის ე.მ.ძ.; $K(P)$ - რეგულატორის, აგზნების სისტემის და როტორის გადამცემი ფუნქცია.

სინქრონული მანქანის თვითგაქანების მოვლენა ზღუდავს რეგულირების კოეფიციენტის ზედა ზღვრულ მნიშვნელობას გადახრის მიხედვით. გამომდინარე აქედან აღიძვრება ამოცანა აგზნების სისტემის რეგულირების სტაბილიზაციის. სტაბილიზაციის მეთოდი განისაზღვრება მდგრადობის ზღვარის შესაძლო გაზრდით. მანქანის ე.მ.ძ. ადჭურვილი ძლიერი მოქმედების რეგულატორით, დამოკიდებულია არა მხოლოდ გადახრებისგან, აგრეთვე რეჟიმული Π სიდიდეების წარმოებულისაგან.

$$e_d = k(P)\Delta\Pi + K_1(P)P\Pi_1 + K_2(P)P^2\Pi_2, \quad (4.2)$$

სადაც Π_1, Π_2 - რეჟიმული სიდიდეების პირველი და მეორე წარმოებულები, რომელიც შემოდის რეგულატორებით; $K_1(P), K_2(P)$ -გადამცემი ფუნქცია რეგულატორის, აგზნების და როტორის სიდიდეების. ზოგად შემთხვევაში Π, Π_1 და Π_2 შეიძლება შერწყმული იქნეს რამოდენიმე რეჟიმული სიდიდეებთან.

მდგრადობის ზღვარის ამაღლების გარდა, აგზნების რეგულირების სისტემას ეკისრება სხვა მთელი რიგი ამოცანა: დემფირების რხევების ინტენსივობის ამაღლება, რეაქტიული სიმძლავრის განაწილება ელექტროსადგურის პარალელურად მომუშავე გენერატორებს შორის მდგრადობის ამაღლება სისტემის შემფოთების დროს, რომელსაც შეიძლება ადგილი ქონდეს სისტემაში ცალკეული სადგურების ასინქრონული სვლის დროს.

გამოსაკვლევი სისტემა მიეკუთვნება ავტომატური რეგულირების მრავალკავშირიანი სისტემის კლასს, რომელშიც გარდამავალი პროცესები ნაკლებად შესწავლილია.

4.2. რეგულირებადი ჰიდროგენერატორის განტოლებები

გარდამავალი პროცესების ხარისხის ანალიზის დროს არსებითი მნიშვნელობა გააჩნია საწყისი განტოლებათა სისტემის არჩევას.

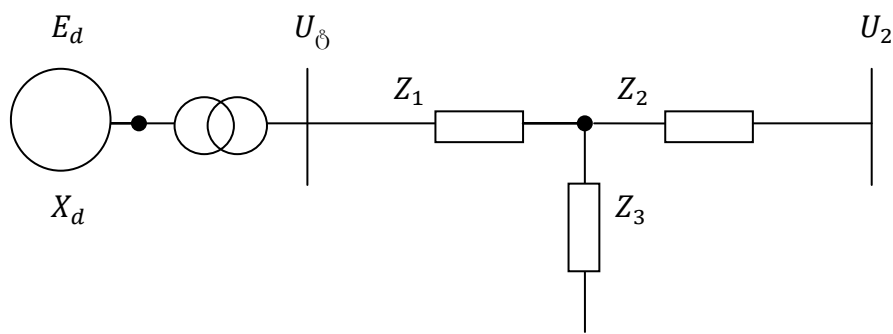
გარდამავალი პროცესების გათვალისწინება გენერატორის სტატორის წრედში ართულებს მიღებული ექსპერიმენტული შედეგების ინტერპრეტაციას და სრული დიფერენციალური განტოლებების ამოხსნის, აგრეთვე რეგულირების სისტემის რაციონალური სტრუქტურის სინთეზის მეთოდის შექმნას. ამოცანა უფრო რთულდება, როცა განიხილება რამოდენიმე პარალელურად მომუშავე ჰიდროგენერატორის ავტომატური რეგულირების სისტემების სინთეზი. ჰიდროგენერატორის სტატორის წრედში გარდამავალი პროცესის მხედველობაში არ მიღება საგრძნობლად ამარტივებს ამოცანას. შემდგომი ანალიზის დროს ჰიდროგენერატორის სტატორის წრედში გარდამავალი პროცესები მხედველობაში არ მიიღება. ტურბინის მომენტს ვუშვებთ მუდმივს.

სტატორის წრედში აქტიურ წინაღობას ვითვალისწინებთ, მხოლოდ დიფერენციალური განტოლებების კოეფიციენტების განსაზღვრის დროს. გამოკვლევის პირველ ეტაპზე ვთვლით, რომ ჰიდროგენერატორის ბუნებრივი დემფერული თვისება, მათ შორის როტორზე სპეციალური დემფერული კონტურების მოქმედება, შეიძლება გავითვალისწინოთ როტორის მოძრაობის განტოლებაში წევრის შეყვანით, რომელიც პროპორციულია ურთიერთ კუთხის ცვლილების სინქარის. თუ გავითვალისწინებთ ჩამოთვლილ დაშვებებს რეგულირებადი ჰიდროგენერატორის განტოლებები საგრძნობლად გამარტივდება. საწყის განტოლებათა სისტემაში [41] ჰიდროგენერატორის სტატორის წრედში გარდამავალი ელექტრომაგნიტური პროცესების განტოლება d და q დერძების მიმართ იქნება ჩაწერილი, როგორც დამყარებული რეჟიმის განტოლება.

მოცემული დაშვებები იძლევა საშუალებას შევამციროთ სისტემაში ცვლადების რიცხვი და გადავიდეთ რეჟიმული სიდიდეების მომქმედ მნიშვნელობებზე. გამოვიყენოთ ფართოდ გავრცელებული d და q კოორდინატთა სისტემა. ნამდვილ სიდიდეთა დერძად მივიღოთ - q დერძი, ხოლო წარმოსახვითი სიდიდეთა დერძად - d დერძი, მაშინ შეიძლება მივიღოთ შემდეგი წარმოდგენა რეჟიმულ სიდიდეებზე კომპლექსურ ფორმაში

$$\underline{U} = U_q + jU_d, \quad \underline{I} = I_q + jI_d, \quad \underline{E}_d = jE_d \quad (4.3)$$

შემოვიყვანოთ გადაცემის სრული კუთხის ცნება $\delta_{12} - E_d$ ე.მ.ძ-ის ვექტორის ძერძის კუთხე მიმდები სისტემის \underline{U}_2 ძაბვის ვექტორის მიმართ (ნახ.4.2).



ნახ.4.1. ელექტროსისტემის უმარტივესი სქემა

კავშირი დენის, ე.მ.ძ-ის E_d და δ_{12} კუთხის მდგენელებს შორის ახალ კოორდინატთა სისტემაში იქნება განსაზღვრული განტოლებებით

$$I_d = \frac{E_d}{Z_{11}} \cos \alpha_{11} - \frac{U_2}{Z_{12}} \cos(\delta_{12} - \alpha_{12}), \quad (4.4)$$

$$I_q = \frac{E_d}{Z_{11}} \sin \alpha_{11} + \frac{U_2}{Z_{12}} \sin(\delta_{12} - \alpha_{12}), \quad (4.5)$$

სადაც Z_{11}, Z_{12} - საკუთარი და ურთიერთ სრული წინაღობების მოდულები; α_{11}, α_{12} - საკუთარი და ურთიერთ სრული წინაღობების დამატებითი კუთხეები.

სრული წინაღობების შემოყვანა საშუალებას იძლევა უფრო ზუსტად გავითვალისწინოთ სტატიკური მახასიათებლები რეალური სისტემის განტოლებებში მცირე გადახრების დროს.

მიღებული დაშვებების შედეგად რეგულირებადი ჰიდროგენერატორის განტოლებები შეიძლება ჩაიწეროს შემდეგი სახით:

$$JP^2 \delta_{12} + DP \delta_{12} + P = M_{\text{მეკ}}, \quad (4.6)$$

$$(1 + T_{d_o} P) E_d - T_{d_o} (X_d - X'_d) P I_d = U_s, \quad (4.7)$$

$$(1 + T_s P) U_s = U_{\phi}, \quad (4.8)$$

$$U_{\phi} = K(P) \Pi + K'(P) P \Pi_1 + K''(P) P^2 \Pi_2, \quad (4.9)$$

სადაც $D = d/dt$, P - ელექტრომაგნიტური მომენტი; T_{d_o} -როტორის დროის მუდმივა, როცა სტატორის გრაგნილები გახსნილია;

$U_s = U_{\phi}$ - აგზნების ძაბვა; T_s - აგზნების დროის მუდმივა; U_{ϕ} -რეგულატორის ძაბვა; $K(P), K'(P), K''(P)$ -რეგულატორის გადამცემი ფუნქციები.

პირველი მიახლოებით განტოლებების მიღებისათვის საკმარისია გამოვიყენოთ ტეილორის ფორმულა და მასში გამოვრიცხოთ მაღალი რიგის წევრები.

ვირჩევთ დამოუკიდებელი ცვლადების რიცხვში ელექტრული კოორდინატებს - E_d ე.მ.ძ. და მექანიკურ - δ_{12} კუთხე. ყველა დანარჩენი რეჟიმული სიდიდეები წარმოდგენილია მათი ფუნქციით.

მითითებული ოპერაციის შესრულებით, (4.6)-(4.9) განტოლებათა სისტემისათვის მივიღებთ:

$$JP^2 \Delta \delta_{12} + DP \delta_{12} + \frac{\partial P}{\partial \delta_{12}} \Delta \delta_{12} + \frac{\partial P}{\partial E_d} \Delta E_d = 0, \quad (4.10)$$

$$\Delta E_d + T_{do} \left[1 - (X_d - X'_d) \frac{\partial I_d}{\partial E_d} \right] P \Delta E_d - T_{do} (X_d - X'_d) \frac{\partial I_d}{\partial \delta_{12}} P \Delta \delta_{12} = \Delta U_s \quad (4.11)$$

$$(1 + T_s P) \Delta U_s = \Delta U_{\phi}, \quad (4.12)$$

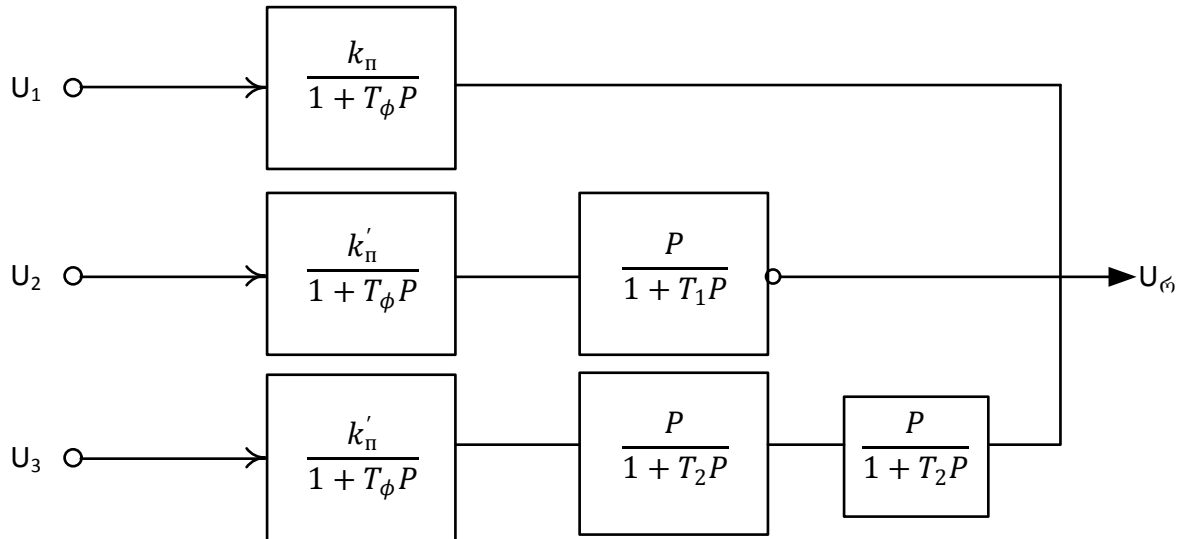
$$\Delta U_{\phi} = \frac{F(P)}{G(P)} K_{\Pi} \left(\frac{\partial \Pi}{\partial \delta_{12}} \Delta \delta_{12} + \frac{\partial \Pi}{\partial E_d} \Delta E_d \right) + \frac{F_1(P)}{G(P)} K'_{\Pi} \left(\frac{\partial \Pi_1}{\partial \delta_{12}} P \Delta \delta_{12} + \frac{\partial \Pi_1}{\partial E_d} P \Delta E_d \right) + \frac{F_2(P)}{G(P)} K''_{\Pi} \left(\frac{\partial \Pi_2}{\partial \delta_{12}} P^2 \Delta \delta_{12} + \frac{\partial \Pi_2}{\partial E_d} P^2 \Delta E_d \right) \quad (4.13)$$

ძლიერი მოქმედების რეგულატორის ჩანაცვლების სქემისთვის (ნახ.4.3) ოპერატორული კოეფიციენტების მნიშვნელობა $F(P), F_1(P), F_2(P)$ და $G(P)$ განისაზღვრება შემდეგი ფორმულებით:

$$F(P) = (1 + T_1 P)(1 + T_2 P)^2, \\ F_1(P) = (1 + T_2 P)^2, F_2(P) = (1 + T_1 P), \quad (4.14)$$

$$G(P) = (1 + T_{\phi} P)(1 + T_1 P)(1 + T_2 P)^2,$$

სადაც T_{ϕ}, T_1, T_2 -ფილტრის და პირველი და მეორე რიგის წარმოებულების დიფერენციატორების დროის მუდმივები.



ნახ.4.2. ძლიერი მოქმედების რეგულატორის ჩანაცვლების სქემა

რეჟიმული სიდიდეების შესაბამისი კერძო წარმოებულები, გამოისახება I_d და I_q დენების კერძო წარმოებულებით. აღნიშნული დენების კერძო წარმოებულები განისაზღვრება (4.4) და (4.5) განტოლებების დიფერენცირებით:

$$\frac{\partial I_d}{\partial \delta_{12}} = \frac{U_2}{Z_{12}} \sin(\delta_{12} - \alpha_{12}), \frac{\partial I_q}{\partial \delta_{12}} = \frac{U_2}{Z_{12}} \cos(\delta_{12} - \alpha_{12}), \\ \frac{\partial I_d}{\partial \delta_{12}} = \frac{1}{Z_{11}} \cos \alpha_{11}, \frac{\partial I_q}{\partial \delta_{12}} = \frac{1}{Z_{11}} \sin \alpha_{11} \quad (4.15)$$

თუ ჰიდროგენერატორის აქტიური სიმძლავრის განტოლებას ჩავწერთ სახეში

$$P = E_d I_q, \quad (4.16)$$

მაშინ კერძო წარმოებულის სიდიდეები ტოლია

$$\frac{\partial P}{\partial \delta_{12}} = E_d \frac{\partial I_q}{\partial \delta_{12}}, \quad (4.17)$$

$$\partial P / \partial E_d = E_q + E_d \frac{\partial I_q}{\partial E_d}, \quad (4.18)$$

ჰიდროგენერატორის ძაბვისა და დენის განტოლება შეიძლება წარმოდგენილი იქნეს შემდეგი სახით:

$$U_1^2 = (E_d - I_d X_{d\sigma})^2 + I_q^2 X_{d\sigma}^2, \quad (4.19)$$

$$I_1^2 = I_d^2 + I_q^2 \quad (4.20)$$

(4.19)-დან მივიღებთ განტოლებას ძაბვის კერძო წარმოებულებისთვის:

$$\frac{\partial U_1}{\partial \delta_{12}} = \frac{(E_d - I_d X_{d\sigma}) \left(-\frac{\partial I_d}{\partial \delta_{12}} X_{d\sigma} \right) + I_q X_{d\sigma}^2 \frac{\partial I_q}{\partial \delta_{12}}}{U_1}, \quad (4.21)$$

$$\frac{\partial U_1}{\partial E_d} = \frac{(E_d - I_d X_{d\sigma}) \left(1 - \frac{\partial I_d}{\partial E_d} X_{d\sigma} \right) + I_q X_{d\sigma}^2 \frac{\partial I_q}{\partial E_d}}{U_1}, \quad (4.22)$$

(4.20) განტოლების დიფერენცირებით, ვპოულობთ განტოლებებს დენების წარმოებულების განსაზღვრისათვის:

$$\frac{\partial I_1}{\partial \delta_{12}} = \frac{1}{I_1} \left(I_d \frac{\partial I_d}{\partial \delta_{12}} + I_q \frac{\partial I_q}{\partial \delta_{12}} \right), \quad (4.23)$$

$$\frac{\partial I_1}{\partial E_d} = \frac{1}{I_1} \left(I_d \frac{\partial I_d}{\partial E_d} + I_q \frac{\partial I_q}{\partial E_d} \right), \quad (4.24)$$

(4.10)-(4.13) განტოლებათა სისტემის საშუალებით შეიძლება გაანალიზდეს ჰიდროგენერატორის გარდამავალი პროცესების ხარისხი, აგრეთვე აგზნების ავტომატური რეგულირების სისტემის რაციონალური სტრუქტურის შექმნის სინთეზი.

4.3. რეგულირების სისტემის გავლენა ჰიდროგენერატორის დინამიკურ თვისებაზე

იმ შემთხვევაში, როცა რეგულირება ხორციელდება გადაცემის კუთხის ფუნქციით, შეიძლება გამოყენებული იქნეს შედარებით მარტივი

მეთოდი ჰიდროგენერატორის დინამიკური თვისების მიახლოებითი ანალიზის. შემოვიყვანოთ დაშვება, მძლავრი ჰიდროგენერატორების პარამეტრების სპეციალურ თანაფარდობაზე. ჰიდროგენერატორის აგზნების გრაგნილს გააჩნია დიდი ინდუქციური და მცირე აქტიური წინაღობა. ხარისხობრივი ანალიზისათვის შეიძლება გამოვიყენოთ ის მდგომარეობა, რომ სიგნალი, რომელსაც გააჩნია როტორის რხევის სიხშირე $(0,5-1 \text{ პერიოდ/წმ})$, გაივლის გრაგნილს, შეიცვლის თავის ფაზას თითქმის $\pi/2$ -ით. დაუშვათ, რომ სიგნალები მითითებული სიხშირით მიწოდებული როტორის გრაგნილზე იცვლის თავის ფაზას ზუსტად $\pi/2$. ასეთი დაშვება ტოლფასია აგზნების გრაგნილის აქტიური წინაღობის გავლენის უგულვებელყოფისა გარდამავალ პროცესებზე. ძაბვა მიწოდებული როტორის რგოლებზე, წარმოქმნის დენს, რომლის ვექტორი დაძრულია ძაბვის ვექტორის მიმართ $\pi/2$ კუთხით. თუ გარდა ამისი უგულვებელყოფით აგზნების და რეგულატორის ინერციულობას, მაშინ ჰიდროგენერატორი, რომლის აგზნება რეგულირდება გადახრის ფუნქციით, როტორის დაძვრის კუთხის პირველი და მეორე წარმოებულით, შეიძლება განვიხილოთ როგორც რხევითი კონტური.

განტოლებები (4.11)-(4.13) შეიძლება ჩავწეროთ როგორც ერთი განტოლება:

$$(1 + T'_d P) \Delta E_d + NP \Delta \delta_{12} = K_\delta \Delta \delta_{12} + K'_\delta P \Delta \delta_{12} + K''_\delta P^2 \Delta \delta_{12}, \quad (4.25)$$

სადაც

$$T'_d = T_{do} \left[1 - (x_d - x'_d) \frac{\partial I_d}{\partial E_d} \right], \quad (4.26)$$

$$N = -T_{do} (x_d - x'_d) \frac{\partial I_d}{\partial \delta_{12}},$$

(4.27)

$K_\delta, K'_\delta, K''_\delta$ -გადახრების მიხედვით რეგულირების კოეფიციენტები, δ_{12} კუთხის პირველი და მეორე რიგის წარმოებულით. შემოღებული დაშვება იძლევა საშუალებას, რომ $T'_d \gg 1$. მაშინ ΔE_d სიდიდე შეიძლება წარმოვადგინოთ შემდეგი სახეში

$$\Delta E_d = \frac{K_\delta}{T'_d \omega^2} P \delta_{12} + \frac{K'_\delta - NP}{T'_d} \Delta \delta_{12} + \frac{K''_\delta}{T'_d} P \Delta \delta_{12} \quad (4.28)$$

ჩავსვათ ΔE_d მნიშვნელობა (4.28) დან (4.10) განტოლებაში, მივიღებთ განტოლებას როტორის მცირე რხევებით

$$JP^2\Delta\delta_{12} + \left(D - \frac{S_E}{T_d'\omega^2}K_\delta + \frac{S_E K_\delta''}{T_d'}\right)P\Delta\delta_{12} + \left(S_\delta + S_E \frac{K_\delta' - N}{T_d'}\right)\Delta\delta_{12} = 0, \quad (4.29)$$

$$\text{სადაც } S_E = \partial P / \partial E_d, S_\delta = \partial P / \partial \delta_{12}$$

განტოლება (4.29) შეიძლება გამოყენებული იქნეს ჰიდროგენერატორის აგზნების რეგულირების სისტემის საკუთარი რხევების ძირითადი პარამეტრების მიახლოებითი განსაზღვრისათვის. ამგვარად (4.29)-ით ვპოულობთ მიღების კოეფიციენტს α და კუთხური სიხშირეს ω_0

$$\alpha = \frac{1}{2} \frac{D - \frac{S_E}{T_d'}(\frac{1}{\omega^2}K_\delta - K_\delta'')}{J}, \quad (4.30)$$

$$\omega_0 = \frac{S_\delta \frac{S_E'}{T_d'}(K_\delta' - N)}{J}. \quad (4.31)$$

განვიხილოთ რეგულირებადი ჰიდროგენერატორი როგორც მარტივი რხევითი კონტური, მაშინ შეიძლება ვიპოვოთ როტორის მოძრაობის განტოლება

$$\Delta\delta_{12} = ae^{-\alpha t} \cos(\omega t - \varphi), \quad (4.32)$$

სადაც a - შერევის ამპლიტუდა, φ -საწყისი ფაზა, ω -საკუთარი რხევის კუთხური სიხშირე, განსაზღვრული სისტემის დემფერული მომენტის გათვალისწინებით. კუთხური სიხშირე საკუთარი მიღებადი რხევებით განისაზღვრება განტოლებით

$$\omega = \sqrt{\omega_0^2 - \alpha^2}, \quad (4.33)$$

თუ $\alpha > 0$, მაშინ $\omega < \omega_0$

განტოლებები (4.30)-(4.33) გარკვეული პირობების დროს იძლევა საკმაოდ კარგ თანხვედრას ექსპერიმენტის შედეგებთან, მაგრამ ამასთან ერთად უნდა აღინიშნოს ფარდობითი უტყუარობა (4.29) საწყისი განტოლების. ბოლო მდგომარეობა მარტივად შეიძლება გამოვავლინოთ არარეგულირებადი ჰიდროგენერატორის სტატიკური მდგრადობის ანალიზის დროს ($K_\delta = K_\delta' = K_\delta'' = \Delta E_d = 0$).

აღნიშნული შემთხვევისათვის გვაქვს

$$\omega_0 = \frac{S_\delta - \frac{S_E N}{T'_d}}{J}, \quad (4.34)$$

$$\alpha = D/2J \quad (4.35)$$

ჰიდროგენერატორში აგზნების რეგულირების გარეშე ჩვეულებრივ $\alpha/\omega \ll 0,1$, ამიტომ შეიძლება მივიღოთ $\omega = \omega_0$.

ვაჩვენოთ, რომ გამარტივებული განტოლება (4.29) და რეგულირებადი ჰიდროგენერატორის სრული განტოლება (4.10)-(4.13) იძლევიან სხვადასხვა შედეგებს რეჟიმის მდგრადობის ანალიზის დროს, რომელსაც შეესაბამება კუთხე $\delta_{12} = 90^\circ$. ჰიდროგენერატორისთვის, რომელიც მუშაობს უსასრულო სიდიდის სიმძლავრეზე, ხაზის გავლით, ჩანაცვლებული რეაქტიული წინაღობით, როცა $\delta_{12} = 90^\circ$ გვექნება

$$S_\delta = 0, N = -T_{d0}U(1 - x'_d/x_d)$$

(4.34)-ის შესაბამისად საკუთარი რხევების სისშირე იქნება ნულზე მეტი. (4.26), (4.27) განტოლებების საშუალებით შეიძლება ვაჩვენოთ, რომ ეკვივალენტური მასინქრონიზირებელი მომენტი (4.29) განისაზღვრება ფორმულით

$$S_\delta - \frac{S_E}{T'_d} N = \frac{U_2 E_d}{x'_d} \cos \delta_{12} - \frac{U_2^2 (x_d - x'_d)}{x_a x'_d} \cos 2\delta_{12}, \quad (4.36)$$

რომელიც შეესაბამება მასინქრონიზირებელ მომენტს, მიღებული ჰიდროგენერატორის ე.მ.ძ-ის მუდმივობის პირობიდან გარდამავალი წინაღობის შემდეგ. არარეგულირებადი ჰიდროგენერატორის საკუთარი რხევების სისშირე აღმოჩნდება ნულზე მეტი, განსაზღვრული პირობით აღნიშნული მომენტის ნულთან გატოლებით. ეს დასკვნა, მიღებულია (4.29) განტოლების ანალიზიდან. (4.29) განტოლებით არ შეიძლება აიხსნას მდგრადობის დარღვევა კუთხის δ_{12} მნიშვნელობის დროს, როცა ის მეტია 90° -ზე. სრული განტოლებათა სისტემას (4.10)-(4.13), როცა განიხილება პირობა $\Delta U_B = 0$ გააჩნია მესამე რიგის მახასიათებელი განტოლება

$$JT'_d P^3 + (J + DT'_d)P^2 + (S_\delta + T'_d + D - S_E N)P + S_\delta = 0 \quad (4.37)$$

როგორც (4.37)-დან გამომდინარეობს არარეგულირებადი ჰიდროგენერატორის ზღვრული რეჟიმი მდგრადობის მიხედვით განისაზღვრება პირობით $S_\delta = 0$, რომელსაც შეესაბამება $\delta_{12} = 90^\circ$

კუთხე. ეს პირობა არ შეიძლება მივიღოთ (4.29) განტოლებიდან, რაც აიხსნება ერთი ფესვის დაკარგვით გამარტივებული განტოლებაზე გადასვლის დროს (4.29) განტოლება იძლევა საშუალებას ვიპოვოთ ზღვრული მნიშვნელობა რეგულირების კოეფიციენტის, δ_{12} კუთხის გადახრის მიხედვით და მიეცეს მარტივი განმარტება აგზნების ავტომატური რეგულატორის სისტემის თვითგაქანების მოვლენას. რეგულირების გარეშე ($K_{\delta}'' = K_{\delta}''' = 0$) მიღების კოეფიციენტის მნიშვნელობა განისაზღვრება (4.30) განტოლებიდან:

$$\alpha = \frac{1}{2} \frac{D - \frac{S_E}{T_d'} \frac{1}{\omega^2} K_{\delta}}{J} \quad (4.38)$$

K_{δ} -ს ზღვრული მნიშვნელობას ვპოულობთ პირობიდან $\alpha = 0$, რომლის დროს სამართლიანია გამოსახულება

$$K_{\delta} = DT_d' \omega^2 / S_E \quad (4.39)$$

თუ გავითვალისწინებთ, რომ ჩვეულებრივ ჰიდროგენერატორებში D -ს გააჩნია მცირე სიდიდე (0,01-0,03 წმ), მაშინ ზღვრული სიდიდე K_{δ} , (4.39) პირობიდან, აღმოჩნდება მნიშვნელოვნად ნაკლები იმ მნიშვნელობაზე, რომელიც საჭიროა ჰიდროგენერატორის სტატიკური მახასიათებლების უზრუნველყოფისათვის. როგორც ჩანს (4.30) განტოლებიდან, დადებითი მნიშვნელობა ქრობის კოეფიციენტის, დიდი K_{δ} -ს დროს, შეიძლება უზრუნველყოფილი იქნეს δ_{12} კუთხის მეორე რიგის წარმოებულის მიხედვით აგზნების რეგულირებისას. ამავე განტოლებიდან ჩანს, რომ პირველი წარმოებულის საშუალებით აღნიშნული ამოცანის გადაწყვეტა არ შეიძლება. პირველი წარმოებულის გამოყენებით შეიძლება გაზრდა ეკვივალენტური მასინქრონიზებელი მომენტის (4.29). ამას აქვს მნიშვნელობა სტატიკური მდგრადობის ზღვარის გაფართოებისათვის. აღნიშნული ზღვარი ემთხვევა პირობას

$$S_{\delta} - \frac{S_E}{T_d'} N = 0 \quad (4.40)$$

(4.33) განტოლება საკუთარი მიღვეადი რხევების სიხშირისათვის და (4.30), (4.31) ტოლობა იძლევა საშუალებას დავადგინოთ რეგულირების კოეფიციენტების მნიშვნელობების გავლენა რხევის სიხშირის სიდიდეზე, წარმოებულების მიხედვით. რეგულირების კოეფიციენტის გაზრდა პირველი წარმოებულის K_{δ}' მიხედვით იწვევს

საკუთარი რხევების სიხშირის გაზრდას, ხოლო მეორე წარმოებული K'' იწვევს საკუთარი რხევების სიხშირის შემცირებას. იმავე განტოლების გამოყენებით, შეიძლება ვიპოვოთ აპერიოდული გადასვლის პირობა ($\omega = 0$) აგზნების რეგულირების სისტემისთვის. ამისათვის უნდა შესრულდეს ტოლობა $\alpha = \omega_0$, რომელიც (4.30), (4.31) გათვალისწინებით გარდაიქმნება შემდეგი სახეში

$$D - \frac{S_E}{T'_d} \left(\frac{K_\delta}{\omega^2} - k''_\delta \right) = 2 \left[s_\delta + \frac{S_E}{T'_d} (k'_\delta - N) \right]. \quad (4.41)$$

4.4. რეგულირებადი ჰიდროგენერატორის განზოგადოებული სტრუქტურული სქემა

სტრუქტურული სქემის შედგენისათვის შეიძლება გამოყენებული იქნეს განტოლებები (4.10)-(4.13), რომლებიც შემოღებული აღნიშვნების გათვალისწინებით მიიღებს შემდეგ სახეს

$$JP^2\Delta\delta_{12} + DP\Delta\delta_{12} + S_\delta\Delta\delta_{12} + S_E\Delta E_d = 0, \quad (4.42)$$

$$NP\Delta\delta_{12} + (1 + T'_dP)\Delta E_d = \Delta U_B, \quad (4.43)$$

$$(1 + T_B)P\Delta U_B = \Delta U_P, \quad (4.44)$$

$$\Delta U_P = \frac{F(P)}{G(P)} K_\Pi \frac{\partial \Pi}{\partial \delta_{12}} \Delta\delta_{12} + \frac{F(P)}{G(P)} K_\Pi \frac{\partial \Pi}{\partial E_d} \Delta E_d + \frac{F_1(P)}{G(P)} K'_\Pi \frac{\partial \Pi_1}{\partial \delta_{12}} P\Delta\delta_{12} + \frac{F_1(P)}{G(P)} K'_\Pi \frac{\partial \Pi_1}{\partial E_d} P\Delta E_d + \frac{F_2(P)}{G(P)} K''_\Pi \frac{\partial \Pi_2}{\partial \delta_{12}} P^2\Delta\delta_{12} + \frac{F_2(P)}{G(P)} K''_\Pi \frac{\partial \Pi_2}{\partial E_d} P^2\Delta E_d, \quad (4.45)$$

$$N = -T_{do} U_2 \frac{x_d - x'_d}{Z_{12}} \sin(\delta_{12} - \alpha_{12}), \quad (4.46)$$

$$T'_d = T_{do} \left(1 - \frac{x_d - x'_d}{Z_{11}} \cos\alpha_{11} \right) \quad (4.47)$$

(4.45) განტოლება შეიძლება გადაიწეროს შემდეგი სახით:

$$\Delta U_P = \frac{F(P)}{G(P)} K_\delta \Delta\delta_{12} + \frac{F(P)}{G(P)} K_E \Delta E_d + \frac{F_1(P)}{G(P)} K'_\delta P\Delta\delta_{12} + \frac{F_1(P)}{G(P)} K'_E P\Delta E_d + \frac{F_2(P)}{G(P)} K''_\delta P^2\Delta\delta_{12} + \frac{F_2(P)}{G(P)} K''_E P^2\Delta E_d, \quad (4.48)$$

სადაც

$$K_\delta = K_\Pi \frac{\partial \Pi}{\partial \delta_{12}}, \quad K_E = K_\Pi \frac{\partial \Pi}{\partial E_d},$$

$$K'_\delta = K'_\Pi \frac{\partial \Pi_1}{\partial \delta_{12}}, \quad K'_E = K'_\Pi \frac{\partial \Pi_1}{\partial E_d},$$

$$K_{\delta}'' = K_{\Pi}'' \frac{\partial \Pi_2}{\partial \delta_{12}}, \quad K_E'' = K_{\Pi}'' \frac{\partial \Pi_2}{\partial E_d}$$

(4.48) განტოლებაში არ მონაწილეობს რეგულირების კოეფიციენტი გადახრის მიხედვით K_{Π} , პირველი წარმოებული K_{Π}' და მეორე წარმოებული K_{Π}'' რეჟიმის სიდიდეების. მათ მაგივრად შეყვანილია სიდიდეები $K_{\delta}, K_{\delta}', K_{\delta}'', K_E, K_E'$ და K_E'' , რომლებიც შეიძლება განვიხილოთ როგორც რეგულირების კოეფიციენტები გადახრების მიხედვით და δ_{12} კუთხის წარმოებულებით და E_d ემპ-ით. ასეთი ჩაწერის ფორმა ხდის მიზანშეწონილს განხილული იქნეს სისტემა, როგორც მრავალკავშირიანი, რომელშიც ხორციელდება რეგულირება ორი პარამეტრის: δ_{12} კუთხე და E_d ემპ.

აგზნების რეგულირების სისტემის ანალიზის დროს კოეფიციენტების $K_{\delta}, K_{\delta}', K_{\delta}'', K_E, K_E'$ და K_E'' სიდიდეები იქნება განსაზღვრული რეჟიმების სიდიდეებით, რომლის ფუნქციით ხორციელდება რეგულირება. ასე, მაგალითად, თუ რეგულირება მიმდინარეობს სტატორის დენის ფუნქციით და ძაბვა მის მომჭერებზე შესაბამისად K_I და K_U რეგულირების კოეფიციენტებით, მაშინ K_{δ} და K_E განისაზღვრება ფორმულებით

$$K_{\delta} = K_I \frac{\partial I}{\partial \delta_{12}} - K_U \frac{\partial U}{\partial \delta_{12}}, \quad (4.49)$$

$$K_E = K_I \frac{\partial I}{\partial E_d} - K_U \frac{\partial U}{\partial E_d} \quad (4.50)$$

(4.42)-(4.47) განტოლებათა სისტემის საფუძველზე, კონკრეტული რეგულირების სქემის (ნახ.4.3) გათვალისწინებით შეიძლება აიგოს განზოგადოებული სტრუქტურული სქემა, რომელიც გამოსახულია ნახ.4.4. აღნიშნული სქემის განსაკუთრებულობას წარმოადგენს რეგულატორების ყველა რგოლების ორჯერადად განმეორება. ამიტომ სქემაში გამორიცხულია რეალური რეჟიმული სიდიდეები, რომლის ფუნქციით ჩვეულებრივ ხორციელდება აგზნების რეგულირება. ამით მიიღწევა სქემის განზოგადოება და გამოიკვეთება რეგულირებადი ჰიდროგენერატორის სპეციფიკური განსაკუთრებულობა, როგორც მრავალკონტურიანი და მრავალკავშირიანი სისტემების.

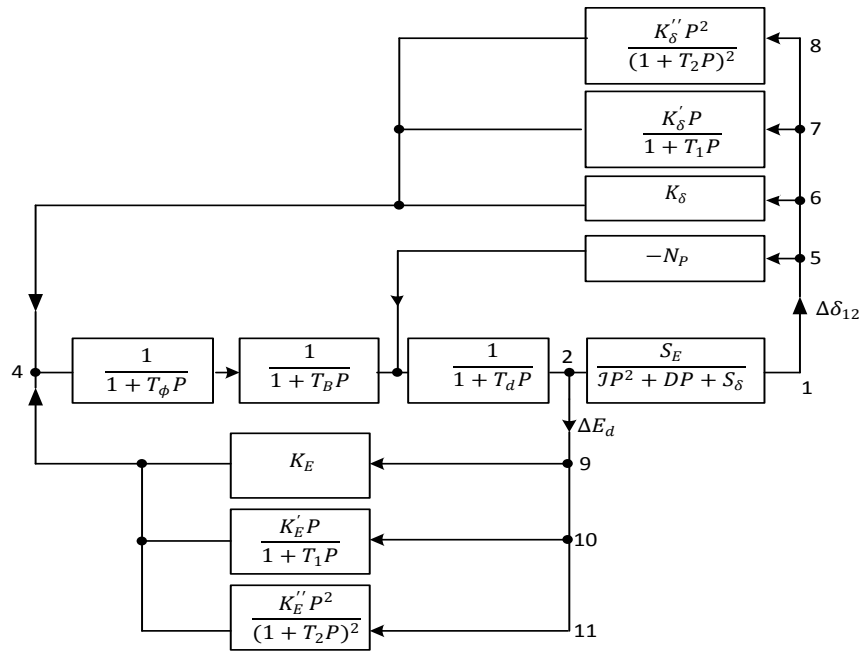
ჰიდროგენერატორის აგზნების რეგულირების სისტემის სტრუქტურული სქემა მიღებული დაშვების დროს შეიცავს შვიდ კონტურს. ერთი მათგანი. (1,5,3,2,1), წარმოადგენს შიდა უკუ კავშირს, დამახასიათებელი ჰიდროგენერატორისთვის, როგორც რეგულირების ობიექტი. ფიზიკურად ეს უკუ კავშირი წარმოშობს დამატებით ე.მ.ძ-ის პროცესს აგზნების გრაგნილში რხევების დროს.

სქემაში დანარჩენი ექვსი კონტურის არსებობა განპირობებულია რეგულატორის მოქმედებით, რომელიც წარმოშობს გარე უკუ კავშირებს. კონტურები, შექმნილი აგზნების რეგულატორებით, შეიძლება დაიყოს ორ ჯგუფად: ელექტრომექანიკური და ელექტრომაგნიტური.

განსაკუთრებულობას ელექტრომექანიკური კონტურების წარმოადგენს ის, რომ ისინი შეიცავს რხევითი რგოლებს. აღნიშნულ ჯგუფს მიეკუთვნება სამი კონტური: δ_{12} კუთხის გადახრა (1,6,4,3,2,1), მისი პირველი (1,7,4,3,2,1) და მეორე (1,8,4,3,2) წარმოებულებით. უნდა აღინიშნოს, რომ კონტური, წარმოქმნილი შიდა უკუ კავშირით N_p , თავისი ბუნებით აგრეთვე წარმოადგენს ელექტრომექანიკურს.

ელექტრომაგნიტური კონტურები არ შეიცავს რხევით რგოლებს. მათ მიეკუთვნება E_d ემძ-ის გადახრის კონტურები (2,9,4,3,2), მისი პირველი (2,10,4,3,2) და მეორე (2,11,4,3,2) წარმოებულები.

ჰიდროგენერატორის აგზნების რეგულირების პრინციპს საფუძვლად უდევს მოთხოვნა, რომ რეგულირების დროს ნებისმიერი სიდიდის შემთხვევაში უკუ კავშირი კუთხის მიხედვით იყოს დადებითი ($K_\delta > 0$). აღნიშნული მდგომარეობიდან განისაზღვრება ნიშანი, რომლითაც უნდა შემოვიდეს δ_{12} კუთხის გადახრა, სტატორის დენი და გენერატორის ძაბვა.



ნახ.4.3. ჰიდროგენერატორის აგზნების რეგულირების სისტემის განზოგადოებული სტრუქტურული სქემა

აგრეთვე განისაზღვრება უკუ კავშირის ნიშანი E_d -ემმ-ის მიხედვით. დენის მიხედვით რეგულირების დროს უკუ კავშირი E_d -ს მიხედვით წარმოადგენს დადებითს ($K_E > 0$), ძაბვის მიხედვით რეგულირების დროს – უარყოფითი ($K_E < 0$), ხოლო კუთხის მიხედვით რეგულირების დროს და მისი წარმოებულთ უკუ კავშირი ემმ-ის მიხედვით და მისი წარმოებულთ გამორიცხულია. ამის შესაბამისად არსებითად იცვლება სისტემის თვისება მთლიანობაში.

რეგულირებად ჰიდროგენერატორში გარდამავალი პროცესების ხარისხი განისაზღვრება ცალკეული კონტურებით და მათი ურთიერთკავშირებით. დინამიკური თვისებები ელექტრომექანიკური და ელექტრომაგნიტური კონტურების სხვადასხვაა და შეიძლება გამოკვლეულ იქნეს შედარებით მარტივად. თუ სტრუქტურულ სქემაში ნახ.4.4 გამოვრიცხავთ ყველა ელექტრომაგნიტურ კონტურს, მაშინ შეიძლება მივიღოთ სტრუქტურული სქემა, რომელიც შეესაბამება ჰიდროგენერატორის რეგულირების სისტემას, რომელიც ფუნქციონირებს

გადაცემის კუთხის და მისი წარმოებულის. მიღებული სისტემა წარმოადგენს შედარებით მარტივს გარდამავალი პროცესების ანალიზის თვალსაზრისით.

4.5. ჰიდროგენატორის მუშაობა არასიმეტრიული დატვირთვის დროს

განვიხილოთ მოვლენა, რომელიც მიმდინარეობს ჰიდროგენატორის წრედებში სისტემასთან პარალელური მუშაობის დროს. როგორც ცნობილია არასიმეტრიული დატვირთვის შემთხვევაში გენერატორის როტორის და სტატორის წრედებში აღიძვრება ძაბვისა და დენის ჰარმონიკები. [53]

აღნიშნულ შემთხვევაში სტატორის ფაზების გრაგნილებში გამავალი დენები წარმოქმნიან არასიმეტრიულ სისტემას. დენების არასიმეტრიული სისტემა გარკვეული ω კუთხური სიხშირით შეიძლება დაიშალოს სამი სიმეტრიული სისტემით იმავე კუთხური სიხშირით: ნულოვანი, პირდაპირი და უკუ მიმდევრობის.

ნულოვანი მიმდევრობის დენები ქმნიან პულსირებულ მაგნიტურ ველს, რომელიც იწვევს სტატორის განბნევის წინააღმდეგობას ძაბვის გარდნის ზრდას. პირდაპირი და უკუ მიმდევრობის დენები ქმნიან შესაბამისად პირდაპირი და უკუ მიმდევრობის მბრუნავ მაგნიტურ ველებს. მათი ბრუნვის სიჩქარე (ელ.გრად.წამში) ტოლია ω და $-\omega$ სტატორის მიმართ, $(\omega - \omega_0)$ და $-(\omega + \omega_0)$ როტორის მიმართ. აღნიშნული ველები აგაზნებენ ერთდერძიან როტორის გრაგნილში ელექტრომაგნიტურ ძალებს და დენებს კუთხური სიხშირეებით $(\omega - \omega_0)$ და $(\omega + \omega_0)$ [42].

აღნიშნული დენებით შექმნილი პულსირებული მაგნიტური ველები თავის მხრივ, შეიძლება დაიშალოს პირდაპირი და უკუ მიმდევრობის მბრუნავი ველებით, რომლის ბრუნთა სიჩქარე ტოლია: როტორის მიმართ $(\omega - \omega_0)$, $-(\omega - \omega_0)$ და $(\omega + \omega_0)$, $-(\omega + \omega_0)$, სტატორის მიმართ ω , $-(\omega - 2\omega_0)$ და $(\omega + 2\omega_0)$, $-\omega$. აქედან ჩანს, რომ სტატორის ფაზურ გრაგნილებში უნდა აღიძვრას ელექტრომაგნიტურ ძალები

და დენები არა მხოლოდ ω კუთხური სიხშირით, არამედ $|\omega - 2\omega_0|$ და $|\omega + 2\omega_0|$.

დატვირთვის არასიმეტრიულობის გამო აღნიშნული დენები აგრეთვე იქნება არასიმეტრიული. ამიტომ მათ მიმართ გავიმეორებთ იგივე მსჯელობას, რომელიც იყო განხილული დენების მიმართ ω კუთხური სიხშირით, ვიპოვით, რომ როტორის წრედში უნდა აღიძრას ელექტრომამოძრავებელი ძალები და დენები სიხშირეებით $|\omega - 3\omega_0|$ და $|\omega + 3\omega_0|$, ხოლო სტატორის ფაზურ გრაგნილებში - კუთხური სიხშირეებით $|\omega - 4\omega_0|$ და $|\omega + 4\omega_0|$.

ასეთი მსჯელობით, მივდივართ დასკვნამდე, რომ სტატორის ფაზების გრაგნილებში არასიმეტრიული დენების გავლის დროს ω კუთხური სიხშირით როტორის გრაგნილში უნდა აღიძრას ელექტრომამოძრავებელი ძალები და დენები, რომლის სიხშირეები განისაზღვრება ზოგადი ფორმულებით.

$$\omega_{კგ} = [\omega \pm (2k - 1)\omega_0] \quad (k = 0, 1, 2, \dots). \quad (4.51)$$

ერთდროულად სტატორის გრაგნილების ფაზებში უნდა აღიძრას ელექტრომამოძრავებელი ძალები და დენები სიხშირეებით

$$\omega_{კსტ} = [\omega \pm 2k\omega_0] \quad (k = 0, 1, 2, \dots). \quad (4.52)$$

მოცემული მსჯელობა და მიღებული შედეგი სამართლიანია როგორც იძულებითი, ისე თავისუფალი დენებისთვის.

უნდა აღინიშნოს, რომ სიმეტრიული დატვირთვის დროს ელექტრომამოძრავებელი ძალების და დენების იძულებითი მდგენელები შეიცავს ჰარმონიკებს არა ყველა ზემოთ ჩამოთვლილი სიხშირეების. სტატორის გრაგნილებში იარსებებს იძულებითი რხევები მხოლოდ სიხშირით $|\omega_0 - 2\omega_0|$.

მოცემული მსჯელობა სინქრონული მანქანის სტატორის და როტორის გრაგნილებში მაღალი რივის ჰარმონიკების წარმოქმნის მექანიზმზე ნათლად წარმოდგენილია ცხრილი 4.1-ის სახით, რომელიც შედგენილია იძულებითი მდგენელებისათვის ძირითადი ω_0 სიხშირით, იმ დაშვებით, რომ როტორი ბრუნავს N სრიალით.

შეეჩერდეთ უფრო დეტალურად იძულებითი რხევების სიხშირის განსაზღვრაზე სინქრონული მანქანის ცალკე ასინქრონული და ცალკე სინქრონული სვლისათვის.

ზოგად შემთხვევაში, როცა როტორის ბრუნვის სიჩქარე $|\omega_0|$ განსხვავდება სინქრონული $|\omega_0|$ სიჩქარისაგან, ე.ი. გენერატორის დამყარებული ასინქრონული სვლის შემთხვევაში, სიმეტრიული დატვირთვის დროს სტატორის ფაზების გრაგნილებში გაივლის დენები სიხშირეებით

$$\begin{aligned} \omega'_{სტ.} &= \omega_0 \text{ და } \omega''_{სტ.} = \omega_0, \text{ სადაც} \\ \omega_0 &= \omega_0(1 - S). \end{aligned} \quad (4.53)$$

შესაბამისად, სტატორის წრედში არასიმეტრიის არსებობის დროს როტორის გრაგნილში იარსებებს რხევები სიხშირეებით, განსაზღვრული შემდეგი ფორმულებით:

$$\omega'_{kr} = |1 \pm (2k - 1)(2 - S)|\omega_0, \quad (4.54)$$

$$\omega''_{kr} = 1 \pm (2k - 1) / (1 - S)\omega_0, \quad (4.55)$$

სტატორის ფაზის გრაგნილებში, შესაბამისად იარსებებს რხევები სიხშირეებით

$$\omega'_{kსტ.} = |1 \pm 2k(1 - S)|\omega_0, \quad (4.56)$$

$$\omega''_{kსტ.} = |1 \pm 2k|(1 - S)\omega_0, \quad (4.57)$$

(4.54) და (4.56) ფორმულები მიღებულია (4.51) და (4.52) ფორმულებიდან $\omega = \omega_0$ -ის ჩასმით, (4.55) და (4.57) ფორმულები მიიღება $\omega = \omega_0(1 - S)$ -ის ჩასმით. კერძო შემთხვევაში, როცა როტორი ბრუნავს სინქრონულად სიხშირით ($S = 0$), ფორმულები (4.54), (4.55) და (4.56), (4.57) ჩაიწერება შემდეგი სახით

$$\omega'_{kr} = \omega''_{kr} = |1 \pm (2k - 1)|\omega_0, \quad (4.58)$$

$$\omega'_{kსტ.} = \omega''_{kსტ.} = |1 \pm 2k|\omega_0, \quad (4.59)$$

(4.58) და (4.59) ფორმულებიდან ჩანს, რომ გენერატორის სინქრონული სვლის შემთხვევაში და არასიმეტრიული დატვირთვის დროს როტორის გრაგნილში იარსებებს რხევები სიხშირეებით

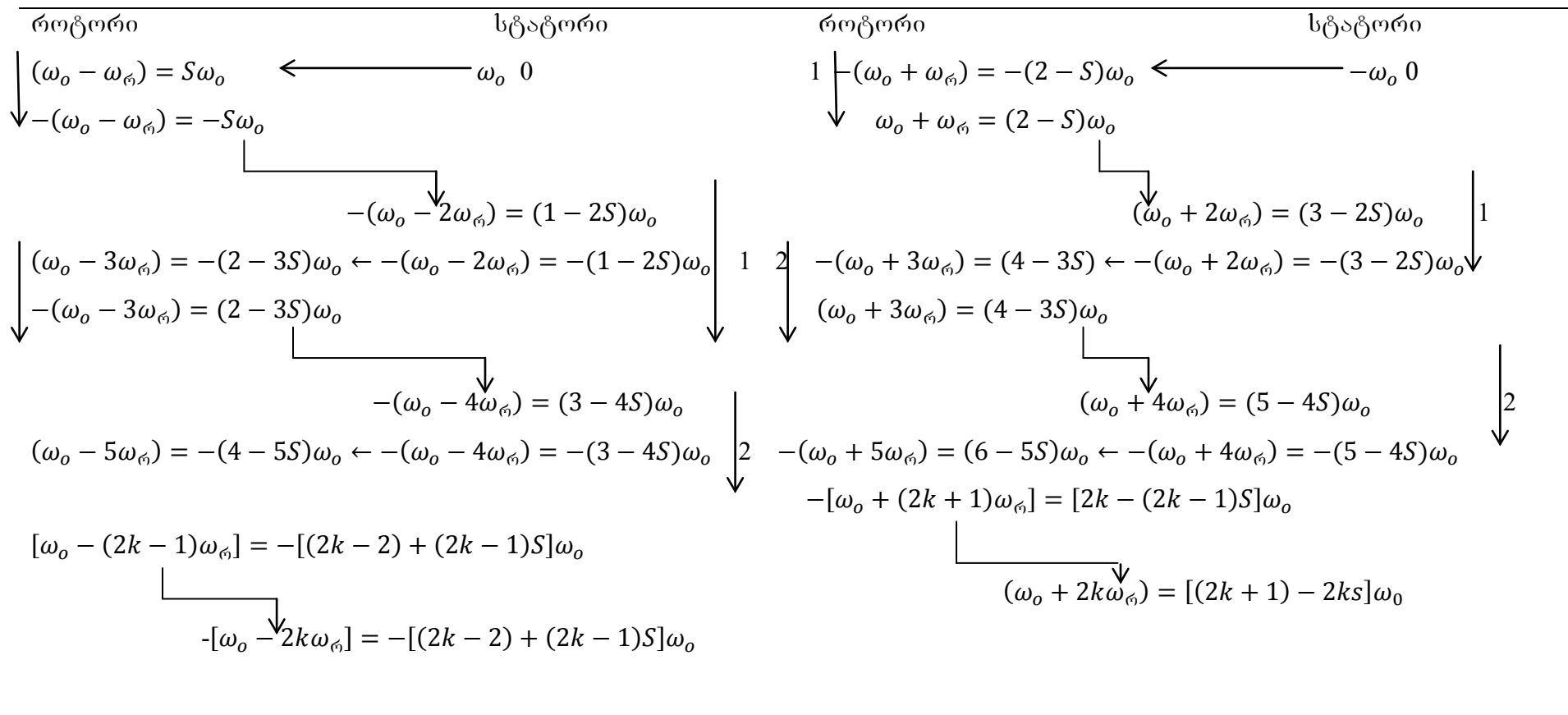
$$\omega_{kr} = \omega_0, \quad 2\omega_0, \quad 4\omega_0, \dots, 2k\omega_0$$

ხოლო სტატორის ფაზების გრაგნილებში - რხევები სისშირეებით

$$\omega_{k\text{სტ.}} = \omega_0, 3\omega_0, 5\omega_0, \dots, (2k + 1)\omega_0$$

ამგვარად, მანქანის სინქრონული სვლის დროს სტატორის წრედში ადგილი აქვს მხოლოდ კენტი ჰარმონიკებს.

აღწერილი მოვლენა, იწვევს როტორში და სტატორში ჰარმონიკების უსასრულო სპექტრის აღძრვას, რომელიც გამოვლინდება როტორის ელექტრული და მაგნიტური არასიმეტრიის დროს, რომელსაც ადგილი აქვს ჰიდროგენერატორებში რომელთაც არ გააჩნიათ დამამშვიდებელი გრაგნილი. ჰიდროგენერატორებში მძლავრი დამამშვიდებელი გრაგნილებით აღნიშნული მოვლენა გამოსახულია სუსტად და ამიტომ პრაქტიკული ანგარიშებისათვის მხედველობაში არ მიიღებიან.



სისტემაში, რომელიც შეიცავს სხვადასხვა თავმოყრილ და განმანაწილებელ ინდუქციურ და ტევადურ პარამეტრებს, შეიძლება შეიქმნას ხელსაყრელი პირობა რეზონანსისთვის დენის ამა თუ იმ ჰარმონიკებისათვის. ამ შემთხვევაში სისტემაში შეიძლება აღიძვრას გადამეტება.

4.6. ჰიდროგენერატორის ტირისტორული აგზნების სისტემის წრედებში გადამეტებები

ჰიდროგენერატორის როტორის გრაგნილზე, აგრეთვე აგზნების სისტემის ძალოვან მოწყობილობებში, რომლის შემადგენლობაში შედის კვების წყარო (ტრანსფორმატორი), ვენტილური გარდამქმნელი, ველის ქრობის მოწყობილობა, მუშაობის პროცესში შეიძლება აღიძვრას გადამეტებები, რომელსაც გააჩნია შემდეგი ფიზიკური ბუნება [55]:

- ქსელის მხრიდან, განპირობებული ატმოსფერული გადამეტებებით (ტრანსფორმატორის გაველით), აგრეთვე კომუტაციური პროცესებით მკვებავი ქსელში;

- გამმართველი ტრანსფორმატორის განბნევის ინდუქციურობებში დენის სწრაფი ცვლილებით, აგრეთვე ვენტილური გამმართველში კომუტაციური პროცესებით;

- გადამეტებები მუდმივი დენის მხარეზე, გამოწვეული შემდეგი მიზეზებით:

- ვენტილური გარდამქმნელის ჩამკეტი მოქმედება, როცა აგზნების გრაგნილში დუზის მხრიდან აღიძვრება უარყოფითი მიმართულების დენები; ასეთი პროცესები აღიძვრება ასინქრონული რეჟიმების შედეგად; როტორის არასასურველი მდებარეობის დროს ასინქრონულ რეჟიმში, გენერატორის ქსელიდან გამორთვა; აგზნების დენის მცირე საწყისი მნიშვნელობის დროს უეცარი არასიმეტრიული მოკლე შერთვა. ზუსტი სინქრონიზაციის მეთოდის გამოყენების შემთხვევაში შეცდომითი სინქრონიზაცია;

- უეცარი მოკლე შერთვის დროს, გენერატორის ველის ქრობა, როცა სტატორის თავისუფალი დენები არაა მიღებული, აგზნების წრედის შემდგომი დამოკლება დიდი ჯერადობის წინააღმდეგ;

- გენერატორის თვითსინქრონიზაციის რეჟიმში დამცავი წინააღმდეგობის გავლით დენის გაგლა (არასწორი არჩევის შემთხვევაში).

- ტირისტორების შეკავების დენებზე ქვემოთ, მათი მნიშვნელობების მიღწევის დროს აგზნების დენის გაწყვეტა.

გადამეტდაბების აღძვრის სხვადასხვა ფიზიკური ბუნების გარდა, ისინი განსხვავდებიან ერთმანეთისგან შიდა ენერგიით, ამპლიტუდით და სიხშირით. ამის შესაბამისად გამოყენებული უნდა იქნეს სხვადასხვა საშუალება გადამეტდაბების შეზღუდვისა, რათა აღმოფხვრათ გენერატორის გრაგნილების იზოლაციის და აგზნების სისტემის ძალოვანი მოწყობილობების ცალკეული ელემენტების დაზიანება. დამცავი მოწყობილობების დამუშავების დროს მნიშვნელოვანია ვიცოდეთ შესაძლო დახრილობა ფრონტის ზრდის და გადამეტდაბის ტალღის ხანგრძლივობის, ხოლო მუდმივი დენის მხარეზე დაცვის შემთხვევაში, დამატებით დენების ხანგრძლივობა და მნიშვნელობა, რომლებიც გაივლის დამცავი წრედის გზით აგზნების გრაგნილის დამოკლების შემთხვევაში. მნიშვნელოვანია აგრეთვე დავადგინოთ, რომელი რეჟიმი წარმოადგენს გადამწყვეტს დამცავი მოწყობილობის პარამეტრების შერჩევის მიზნით.

განვიხილოთ უფრო დეტალურად გადამეტდაბების წარმოქმნის ხასიათი და მათი ლიკვიდაციის მეთოდები.

გადამეტდაბვა ქსელის მხრიდან. როგორც აღნიშნული იყო, ამ სახის გადამეტდაბვა განპირობებულია კომუტაციური პროცესებით მკვებავ ქსელში ან ატმოსფერული მოვლენებით, თანაც აღნიშნული გადამეტდაბვის ენერგია შეიძლება იყოს შედარებით დიდი. საკვებით ბუნებრივია, რომ ასეთი სახის გადამეტდაბვა შეიძლება აღიძვრას თვითაგზნების სისტემაში და აგზნების სისტემაში გამმართველი ტრანსფორმატორის კვებით ელექტროსადგურების საკუთარი მოხმარების სალტიდან. გადამეტდაბვის გადაცემა ძალოვანი ტრანსფორმატორის დაბალი ძაბვის მხარეზე, შემდეგ გარდამქმნელზე

გამმართველი ტრანსფორმატორის გავლით მიმდინარეობს ნაწილობრივ ტევადური გზით და ნაწილობრივ ინდუქციური კავშირის გზით გრაგნილებს შორის. დამატებითი ფაქტორი, გადამეტაბვის იმპულსების ზრდის ფრონტის დახრილობის მოგლუვებულ უნარს, წარმოადგენს გენერატორის სტატორის გრაგნილების ტევადობა. გენერატორში თვითაგზნების სისტემით გადამეტაბვის შეზღუდვა დასაშვებ დონეზე ხორციელდება მცდელებით, დადგენილი ჰიდროგენერატორის გამოყენებზე. გარდა ამისა, გამოიყენება დაცვა გადამეტაბვისგან გამმართველი ტრანსფორმატორის მეორადი გრაგნილის მხარეზე.

გადამეტაბვა, განპირობებული გამმართველი ტრანსფორმატორის კომუტაციით. ასეთი გადამეტაბვა შეიძლება აღიქვას მხოლოდ იმ შემთხვევაში, როცა გამმართველი ტრანსფორმატორი გამოირთვება პირველადი გრაგნილის მხარეს ამომრთველის საშუალებით.

გადამეტაბვების შესაძლო მიზეზები, აღძრული გამმართველი ტრანსფორმატორის კომუტაციის დროს, წარმოადგენს შემდეგს:

- მაღალი ინდუქციურობა, რომელიც მიისწრაფის შეინარჩუნოს უცვლელი დენი გამმართველი ტრანსფორმატორის მთავარ ინდუქციურობაში ტრანსფორმატორის პირველად მხარეზე, დატვირთვის დენის გაწყვეტის შემთხვევაში.

- გამმართველი ტრანსფორმატორის მაგნიტური ენერჯის გადასვლა ელექტრულში მისი გამორთვის დროს უქმი სვლის მუშაობის რეჟიმში.

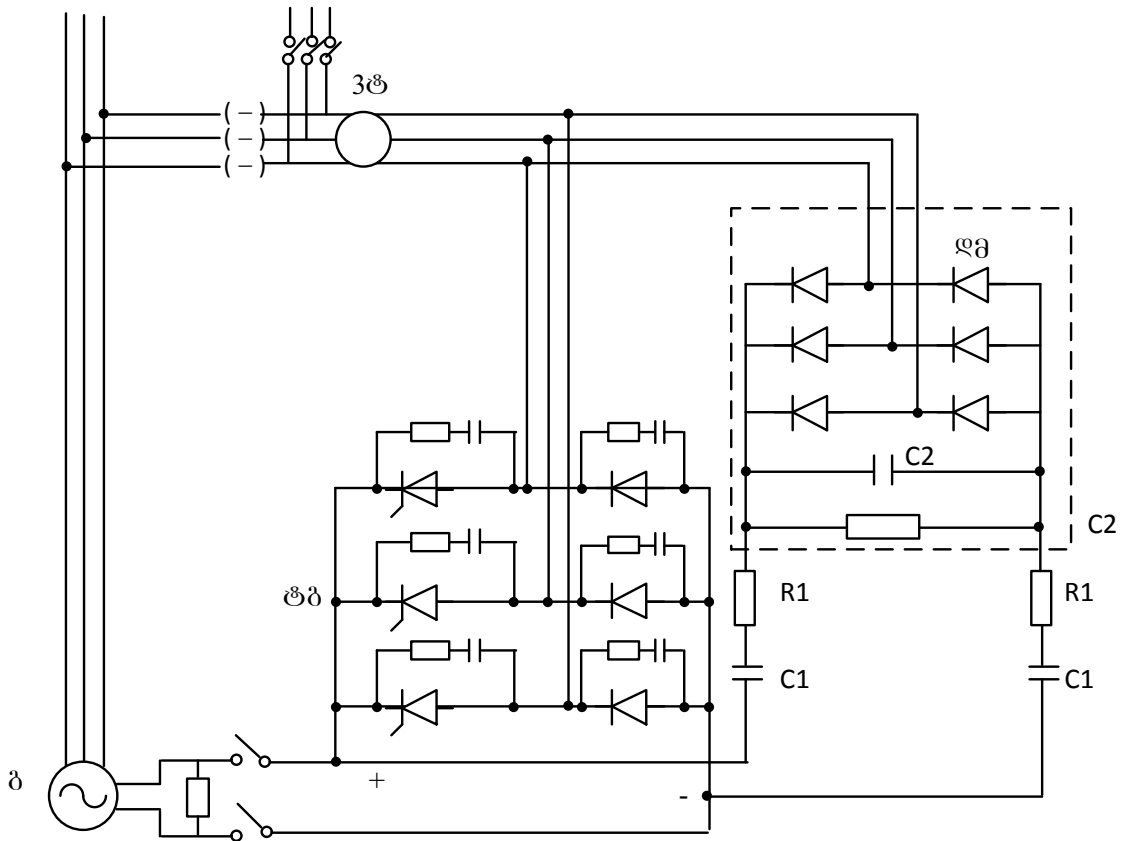
პირველი სახის გადამეტაბვის თავიდან აცილების მიზნით შექმნილია ისეთი ბლოკირება რომელსაც, ცვლადი დენის ამომრთველის გამორთვის წინ, გარდამქმნელი გადაჰყავს ინვერტორულ რეჟიმში და მხოლოდ როტორის დენის ნულამდე შემცირების შემდეგ გამოირთვება ცვლადი დენის ამომრთველი. პირველი სახის გადამეტაბვის გამორიცხვის სხვა მეთოდს წარმოადგენს აგზნების წრედში უქმი სვლის დიოდის ჩართვა. მაგრამ ამ შემთხვევაში შეუძლებელია გარდამქმნელის გადაყვანა ინვერტორულ რეჟიმში.

გადამეტაბვა, განპირობებული გარდამქმნელებში კომუტაციური პროცესებით. როგორც ცნობილია, ნახევრადგამტარული ვენტილების კომუტაციური თვისება, არსებითად განსხვავდება იდეალური ვენტილების თვისებებისაგან. როცა ნახევრადგამტარული ვენტილი (ტირისტორი) იმყოფება ღია მდგომარეობაში [43], ორივე ვენტილის ბაზა და ზოგიერთ შემთხვევაში ერთი ან ორივე ვენტილის ემიტერული არე, შეიცავს ჭარბი მუხტების მატარებელს, რომელიც იზრდება პირდაპირი დენის გაზრდით. იმისათვის, რომ გადავროთ ნახევრადგამტარული ვენტილი ჩაკეტილ მდგომარეობაში, აღნიშნული დაგროვილი ჭარბი მუხტი უნდა მოშორდეს უშუალოდ ელექტრული ველთ. ამიტომ პოლარობის შეცვლის შემდეგ მოდებული ძაბვა ნახევრადგამტარულ ვენტილზე გარკვეულ დროში ატარებს დენს უკუ მიმართულებით. თავიდან უკუ დენი იზრდება I_0 -მდე, ხოლო შემდეგ იწყება უკუ დენის სწრაფად შემცირება, და ის მცირე დროში (ტირისტორის ტიპისა და კლასის მიხედვით - 6 წმ) ეცემა $(0,1-0,2)I_0$ -მდე. ასეთი სწრაფი ცვლილება უკუ დენის იწყებს იმას, რომ კომუტაციის კონტურის მცირე ინდუქციურობის დროსაც კი აღიძვრება მნიშვნელოვანი თვითინდუქციის ემპ.

აღნიშნული გადამეტაბვის შემცირებისთვის ერთობლივად გამოიყენება $R - C$ -წრედი, შეერთებული სამკუთხედად გარდამქმნელის შესასვლელზე, და $R3 - C3$ -წრედი, აშუნტებს ტირისტორს. სხვა მეთოდს დაცვისა წარმოადგენს ტირისტორული გარდამქმნელის მუდმივი ძაბვის მხარეზე, დამცავი მოწყობილობის (დმ) ჩართვისა. $R1 - C1$ ელემენტებით, რომელიც ეს ნაჩვენებია ნახ.4.5[44]. ჩვეულებრივ დასაშვებია გადამეტაბვა 30-40% ზღვრებში ნომინალური ცვლადი ძაბვის მნიშვნელობიდან.

ჩატარებული კვლევებმა აჩვენა, რომ მაღალსიხშირულმა პროცესებმა, რომლებიც მიმდინარეობს ტირისტორების კომუტაციის დროს, შეიძლება არსებითი გავლენა მოახდინოს გარდამქმნელების მუშაობის საიმედოობაზე, მათ ზომებზე და მარგი ქმედების კოეფიციენტზე. $R - C$ -წრედების პარამეტრების ოპტიმალური შერჩევით, შეიძლება არსებითად გავაუმჯობესოთ კონდენსატორების მუშაობის

პირობები და შევამცირით კომუტაციური გადამეტაბვის კოეფიციენტი 1,3-მდე. $R - C$ -წრედის პარამეტრების შერჩევა უნდა განხორციელდეს პროექტირების ეტაპზე, შესაბამისი ანგარიშების საფუძველზე.



ნახ.4.4. გადამეტაბვისაგან დაცვა, განპირობებული კომუტაციური პროცესებით გარდამქმნელში.

გადამეტაბვა მუდმივი დენის მხარეზე. როგორც ნათქვამი იყო ზემოთ, გადამეტაბვა ადრული მუდმივი დენის მხარეზე, წარმოადგენს მიზეზს სხვადასხვა სახის ავარიული სიტუაციების, დაკავშირებულს ჰიდროგენერატორის ჩართვასთან ელექტროსისტემაში ან მის გამორთვისთან ქსელიდან ავარიულ პირობებში.

ძირითადი მიზეზი გადამეტაბვის განპირობებულია აგზნების სისტემის ვენტილების ერთმხრივი გამტარობით. საქმე იმაშია, რომ ჰიდროგენერატორის ავარიულ და გარდამავალ რეჟიმებში აგზნების გრანული დენს დროის გარკვეულ მონაკვეთში გააჩნია უარყოფითი მნიშვნელობა, მაგრამ რადგან ვენტილებს არ შეუძლია გაატაროს დენი

უკუ მიმართულებით, აგზნების დენი აღმოჩნდება განრთული. ამის შედეგად აგზნების გრაგნილის მომჭერებზე წარმოიქმნება ამაღლებული ძაბვა.

ამგვარად, გადამეტებადების აღძვრის კერძო შემთხვევების შესწავლა, საშუალებას იძლევა დავამუშაოთ ანგარიშების მეთოდი, რომელთა გამოყენებით, პროექტირების დროს, მაღალი სიზუსტით შესაძლებელია რთული რეჟიმების გათვალისწინება დამცავი მოწყობილობების პარამეტრების განსაზღვრისთვის.

**თავი V. ენგურჰესის 306 მგვა სიმძლავრის
ჰიდროგენერატორის მართვისა და რეგულირების
ექსპერიმენტალური მახასიათებლები**

**5.1. ენგურჰესის 306 მგვა სიმძლავრის ჰიდროგენერატორის
ტირისტორული აგზნების მოწყობილობები და მათი პარამეტრები.**

აგზნების მოწყობილობა გენერატორისათვის 306 მგვა სიმძლავრის შესდგება გამანაწილებელი დაფისაგან ოთხი კარადით. ჰიდროგენერატორის აგზნების გრაგნილი იკვებება ჰიდროგენერატორის მომჭერებიდან დამწვევი ტრანსფორმატორით 2000 კვა სიმძლავრით, 15,75 კვ/525 ვ ძაბვით. ტრანსფორმატორის მეორადი დენის გამართვა სწარმოებს აგზნების მოწყობილობაში და რეგულირდება აგზნების ძაბვის შემავალი სიგნალის მითითების შესაბამისად.

• ჰიდროგენერატორის ტექნიკური პარამეტრები:

ტიპი: 1DH7254 – 3WE12 – Z

ნომინალური სრული სიმძლავრე $S_6 = 306$ [მგვა]

ნომინალური სიმძლავრის კოეფიციენტი $\cos\varphi = 0,96$

ნომინალური სიხშირე $f_6 = 50$ [ჰერცი]

ნომინალური ბრუნვა $n_6 = 250$ [ბ/წთ]

გენერატორის ნომინალური ძაბვა მომჭერებზე $U_6 = 15750$ [ვ]

გენერატორის ნომინალური დენი მომჭერებზე $I_6 = 11217$ [ა]

გენერატორის ნულოვანი დატვირთვის აგზნების დენი $I_f = 967$ [ა]

გენერატორის ნულოვანი დატვირთვის აგზნების ძაბვა $U_f = 104$ [ვ]

გენერატორის ნომინალური აგზნების დენი $I_{f_6} = 2177$ [ა]

გენერატორის ნომინალური აგზნების ძაბვა $U_{f_6} = 276$ [ვ]

დროის მუდმივა $T'_{do} = 8,8$ [წმ]

რეაქტიული წინაღობა $X_d = 1,87$ [ფ.ე.], $X'_d = 0,53$ [ფ.ე.]

• გამმართველი ტრანსფორმატორის ტექნიკური პარამეტრები:

ნომინალური სრული სიმძლავრე $S_6 = 2000$ [კვა]

პირველადი გრაგნილის ნომინალური ძაბვა $U_1 = 15,75$ [კვ]

მეორადი გრაგნილის ნომინალური ძაბვა $U_2 = 525$ [ვ]

მოკლე შერთვის ძაბვა $E_k = 13\%$

- ტირისტორული ერთეულის **JTK9406·1** ტიპის ტექნიკური პარამეტრები.

ტირისტორული ერთეულები დაგეგმარებულია არარევერსული ტირისტორული გამმართველების მოსათავსებლად. ის შედგება 1 ტირისტორისაგან. სამფაზიანი “ბოგირული” გამმართველი შედგება 6 ტირისტორული ერთეულისაგან. დისტანციური მართვის დაცვის კომუტაცია იცავს ტირისტორებს გადამეტაბვისაგან ტირისტორული დენის მეშვეობით. მაცივებლის ტემპერატურას მართავს ბიმეტალური ტემპერატურული გადამწოდები (ST1). გადამრთველი ტრანსფორმატორების წყვილი (T1, T2) შესაძლებელს ქმნის “LONG” (ხანგრძლივ) გადასართავ იმპულსებს, რომელიც ესაჭიროება ტირისტორებს ჩასართავად ტირისტორული გამმართველის დიდი ინდუქტივობით დატვირთვის შემთხვევაში.

თითოეული ტირისტორისათვის იმპულსები გადაეცემა სიგნალების წყვილით, მართკუთხედის ფორმის იმპულსებით სიგანით 0,025 მიკროწამი და პერიოდით 0,050 მიკროწამი. ტირისტორულ ერთეულზე იმპულსების არსებობის შემდგომ ორთავე სიგნალი იკრიბება და ამ წესით გარდაიქმნება უწყვეტ იმპულსად ტირისტორის ჩართვის განმავლობაში. ტრანსფორმატორები უზრუნველყოფილია 2 პირველადი გრაგნილით, რომლებიც შესაძლებელს ქმნის ტირისტორის ჩართვას ორივე არხიდან. ტირისტორული ერთეულის ნომინალური ძაბვა: 690[ვ]

ნომინალური სიხშირე: 50 [ჰც]

ნომინალური ეფექტური დენი: 1587 [ა]

ნომინალური მუდმივი დენი (ფაზიანი ხიდი, გაცივება – ჰაერი 40°C , 8 მიკრო წამი⁻¹): გადატვირთვით $1,6 \times 20$ წამის განმავლობაში, ინტერვალი 300 წამი 2750 [ა].

- ცვლადი დენის გადამეტაბვისაგან დაცვა.

OLT ტიპის ცვლადი დენის გადამეტაბვისაგან დაცვის მოწყობილობა გეგმარდება ცვლადი დენის გამმართველზე ძაბვის

შეზღუდვისათვის. ის იცავს ტირისტორულ ერთეულებს და იმავდროულად ზღუდავს გადამეტაბვის კომუტაციას. ის შედგება დამხმარე გამმართველის, კონდენსატორის, განმუხტველის და მადემფირებელი რეზისტორისაგან.

ნომინალური ძაბვა:	1000[ვ], 50 [ჰც]
ტევადობა:	32 [მკფ]
მადემფირებელი წინაღობა:	0,22 [ომი]
განმუხტველი წინაღობა:	22 [ომი]

- მუდმივი დენის გადამეტაბვისაგან დაცვა

OTD ტიპის მუდმივი დენის გადამეტაბვისაგან დაცვის მოწყობილობის დანიშნულება შეზღუდოს ძაბვის გადამეტება ზოგიერთი არასტანდარტული მდგომარეობიდან სინქრონულ გენერატორზე ან აგზნები მოწყობილობის არასწორი ფუნქციის შემთხვევაში, დაცვა ზღუდავს გადამეტაბვას. განმუხტველი რეზისტორი შეიძლება პარალელურად შეერთდეს გენერატორის აგზნების გრაზნილს გადამეტაბვის შემთხვევაში. განმუხტველი რეზისტორების შერჩევა ხდება ინდივიდუალურად აგზნების მოწყობილობის შესაბამისად.

დაცვის ჩართვა და დენის გავლა ფასდება სენსორების ($U1, U2$) მეშვეობით.

უწყვეტი სამუშაო ძაბვა:	800 [ვ]
ნომინალური უწყვეტი დენი:	63 [ა]
საწყისი ძაბვა (მუდმივი დენი):	1600 [ვ] ± 50 [ვ]
საგამოცდლო ძაბვა დამიწების საპირისპიროდ:	4000 [ვ]
გადართვის დენი:	4÷8 [ა] მუდმივი დენი
კვება:	= 24[ვ] $\pm 10\%$ მუდმივი დენი

- 16 ბიტანი მიკროკომპიუტერი **D8214B1**

ერთეული სრულდება, როგორც ერთი დაფის მიკროკომპიუტერი *PRIMIS*-ის კონტროლერის საამწყობრო სალტისათვის. დამატებითი მიკროპროცესორი შეიცავს მეხსიერების, შემავალ, გამომავალ და სხვა დამხმარე წრედებს. "PC" ქმნის მომხმარებლის პროგრამას (*software*) დამხმარე *SOFIC* პროგრამით.

ტექნიკური მონაცემები

-16 ბიტი მიკროპროცესორი <i>INTEL 80C186EA</i> ,	16 მგჰც
- მეხსიერება <i>RAM</i>	448 კბაიტი
- ორარხიანი მეხსიერება <i>DPRAM</i>	64 კბაიტი
- მეხსიერება <i>EEPROM</i> (მომხმარებლის პროგრამა)	256 კბაიტი
- მეხსიერება <i>EPROM</i>	128 კბაიტი
- რეალური დროის ციკლი	<i>RTC64611</i>

• კონვერტორის მართვა

ერთეული უზრუნველყოფს გენერატორის ასაგზნები პარამეტრების (აგზნების ძაბვა, აგზნების დენი) გაზომვას და გენერატორის ტირისტორული გამმართველის მართვის იმპულსების მართვას.

გარდა ამისა ის გარდაქმნის გაერთიანებულ ანალოგიურ გაღვანურ გამოყოფილ სიგნალებს 0(4) 20 მა-ზე, მზომი ხელსაწყოების ან გარდამქმნელის გარე კავშირებისათვის. ერთეული აღჭურვილია დიაგნოსტიკური წრედებით.

ტექნიკური მახასიათებლები:

- პროცესორი <i>87C196KR</i> ,	16 მგჰც
- მეხსიერება <i>EPROM</i>	64 კბაიტი
- ორარხიანი მეხსიერება <i>DPRAM</i>	2 კბაიტი

კომუნიკაცია:

- 1 ასინქრონული სერიული არხი *RS232*

კვება: =5ვ მუდმივი დენი $I_{cc} \leq 0,5$ ა

=24ვ მუდმივი დენი $I_{cc} \leq 1$ ა

5.2. მიკროპროცესორების გამოყენება ენგურჰესის ჰიდროგენერატორების მართვისა და რეგულირების მოწყობილობებში

მიღწევები მიკროელექტრონიკის დარგში იძლევა ფართო შესაძლებლობას შეიქმნას ენერგეტიკული მანქანათმშენებლობისათვის ახალი თაობის აპარატურა მართვის, რეგულირების, კონტროლის,

დაცვის, სიგნალიზაციის და დიაგნოსტიკის. მიკროპროცესორული ტექნიკის გამოყენება საშუალებას იძლევა გაფართოვდეს დიაგნოსტიკისა და რეგულირების სისტემების ფუნქციები, ამადღდეს აპარატურის სიზუსტე, რადიკალურად გამარტივდეს კონტროლის მოწყობილობა, დაცვების და სიგნალიზაციის, განხორციელდეს ენერგეტიკული აგრეგატების მართვა ქვესისტემურად საერთოსასადგურო ავტომატიზაციით.

მნიშვნელოვანი უპირატესობა მიკროპროცესორული სისტემების მდგომარეობს, მისი ფუნქციების ცვლილების სიმარტივეში და აგრეთვე მისი ამოცანების პროგრამების უზრუნველყოფით. პროგრამული უზრუნველყოფა და მისი დეტალური შემოწმება არა ნაკლებ მნიშვნელოვანია, ვიდრე აპარატურის შექმნა მიკროპროცესორებზე. ბოლო წლებში ნახევრადგამტარული აგზნების ავტომატური რეგულატორების მიმართულებამ მიიღო შემდგომი განვითარება. მიმდინარეობს აგზნების ავტომატური რეგულატორების (აარ) ფუნქციების გაზრდა და იცვლება მისი ელემენტების ბაზა. როგორც ცნობილია აარ-ის დახმარებით ხორციელდება რეალიზაცია სამი ფუნქციის ჯგუფის: სისტემური, ტექნოლოგიური და დაცვის [43].

სისტემური ფუნქციებში შედის ძაბვების შენარჩუნება მაღალი სიზუსტით, გენერატორების სტატიკური და დინამიკური მდგრადობის უზრუნველყოფა ყველა სასქემო-სარეჟიმო სიტუაციაში, ენერგოსისტემაში ავარიის შემდგომი რხევების დემფირება.

ტექნოლოგიურ ფუნქციებში შედის აგზნების დენის ავტომატური მართვის უზრუნველყოფა ბრძანების შესრულების დროს, გენერატორის ერთი რეჟიმიდან მეორე რეჟიმში გადასვლის დროს, რომლებიც სრულდება მოცემული პროგრამების მიხედვით. მათში შედის: აგრეგატის გაშვების დროს საწყისი აგზნების რეჟიმის უზრუნველყოფა, ზუსტი ავტომატური სინქრონიზაცია ან თვითსინქრონიზაცია, პროგრამული გაშვება ჰიდროგენერატორის, გენერატორის განტვირთვა რეაქტიული სიმძლავრის მიხედვით მისი გამართვის წინ ქსელიდან ნორმალური გაჩერების დროს, რეაქტიული დატვირთვის განაწილება

პარალელურად მომუშავე მანქანებს შორის, გენერატორის ძაბვის შეზღუდვა სიხშირის შემცირების დროს და ა.შ.

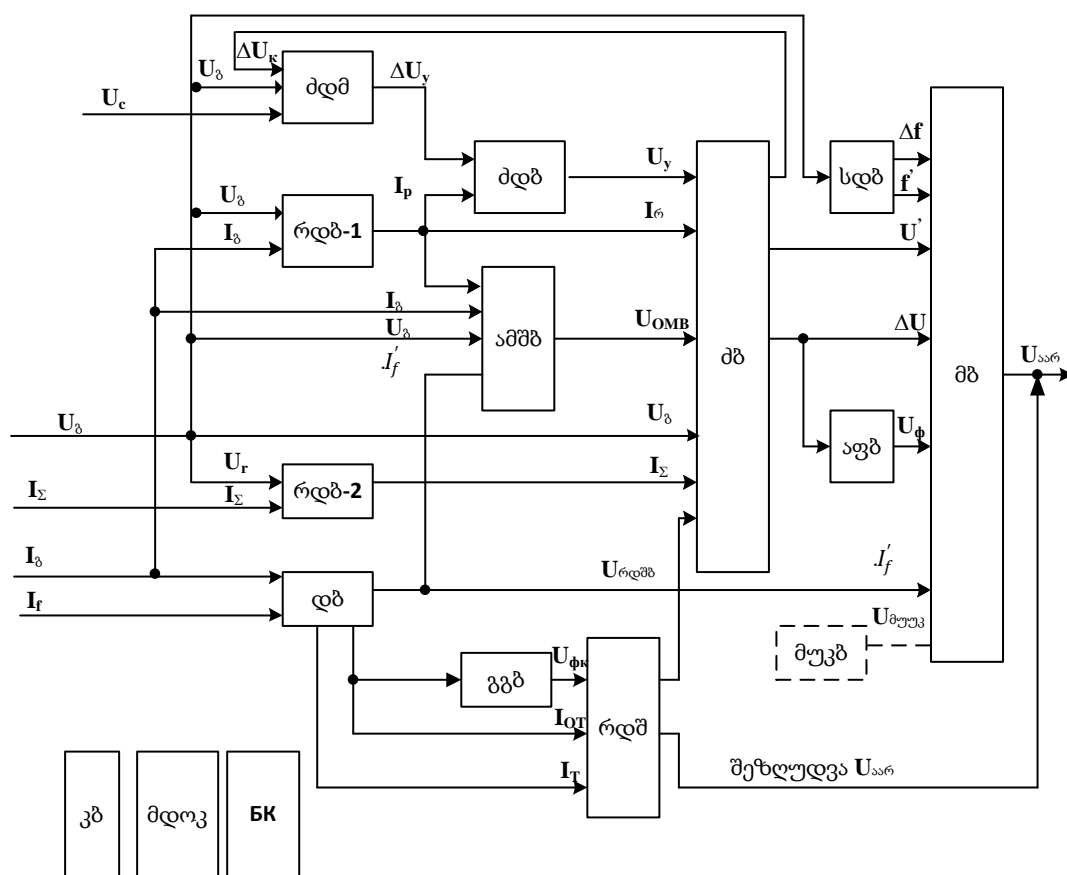
დაცვის ფუნქციები აგზნების ავტომატური რეგულატორის მდგომარეობს შემდეგში: ჰიდროგენერატორის მუშაობის დროს რეჟიმების გამოვლენა როტორის ან სტატორის გრაგნილების დაუშვებელი გახურება მდგრადობის პირობის მიხედვით, აგზნების სისტემის გარდამქმნელის ტირისტორების გადატვირთვა და ა.შ., უზრუნველყოს დაბრუნება დასაშვები მუშაობის რეჟიმში ინერციის გარეშე ან მცირე დროის დაყოვნებით, განსაზღვრული ძირითადი მოწყობილობის მახასიათებლებით. ასეთ ფუნქციებს მიეკუთვნება: მინიმალური აგზნების შეზღუდვა გამომდინარე მდგრადობის პირობიდან ან გადახურება სტატორის შუბლური ზონის, რეაქტიული სიმძლავრის მოთხოვნის რეჟიმში, როტორის ან სტატორის გადატვირთვა დენის მიხედვით, მანქანის თბური მდგომარეობის გათვალისწინებით, აგზნების მაქსიმალური დენი აგზნების სისტემის გარდამქმნელის მდგომარეობის გათვალისწინებით.

ბოლო წლებში მძლავრ ჰიდროგენერატორებზე ინერგება აგზნების ავტომატური რეგულატორი, რომელიც კონსტრუქციულად შესრულებულია ორი სტანდარტული კასეტის სახით, რომელიც მოთავსებულია კარადაში აგზნების ავტომატური მართვის აპარატურასთან ერთად.

ზედა კასეტა ძირითადად ასრულებს აგზნების ავტომატური რეგულატორის ფუნქციას, ხოლო ქვედა კასეტა კი ჰიდროგენერატორის მუშაობის რეჟიმების სტაბილიზაციას. თითოეული ბლოკი რეგულატორის შედგება პლატასგან წინა პანელზე, რომელზეც დაყენებულია აუცილებელი ელემენტები ბლოკის გაწყობისათვის და შემოწმებისათვის რეგულატორის ყველა ბლოკი წარმოადგენს კომბინაციას რამოდენიმე ტიპური ფუნქციონალური ელემენტებისაგან (სუმატორი, ინტეგრატორი, დიფერენციატორი, კომპარატორი, ფაზომგრძობიარე გამმართველი, მულტივიბრატორი), შესრულებული ოპერაციულ მაძლიერებელზე – ინტეგრალური მიკროსქემაზე რეგულატორი შეიცავს ცალკეულ ბლოკებს. ნათლადაა გამოხატული

მეცნიერულ-ტექნიკური პროგრესი ძლიერი მოქმედების აგზნების ავტომატური რეგულატორის დამუშავების საკითხებში, რომელიც მდგომარეობს მასის საგრძნობი შემცირებით 1100 კგ-დან (მაგნიტური მაძლიერებლების ბაზაზე) 40 კგ-მდე (ინტეგრალური მიკროსქემების ბაზაზე).

ფუნქციონალური სქემა აგზნების ავტომატური რეგულატორის ნაჩვენებია (ნახ.5.1).



ნახ.5.1. აგზნების ავტომატური რეგულატორის ფუნქციონალური სქემა.

შემავალი სიგნალებს წარმოადგენს გენერატორის დენი - I_g , გენერატორის ძაბვა U_g , აგზნების დენი - I_f , გენერატორების ჯამური დენი - I_Σ და ქსელის ძაბვა - U_c . გამოსავალი სიგნალი განისაზღვრება გამოსახულებით

$$U_{არ} = k_{U0}\Delta U + k_{U1}U' + k_{f0}\Delta f + k_{f1}f' + k_{If1}I'_f,$$

სადაც $k_{U0}, k_{U1}, k_{f0}, k_{f1}, k_{If1}$ -რეგულირების კოეფიციენტები ძაბვის გადახრის მიხედვით და ძაბვის პირველი წარმოებულის მიხედვით,

სიხშირის გადახრის მიხედვით და სიხშირის პირველი წარმოებულის მიხედვით და შესაბამისად როტორის დენის პირველი წარმოებულის მიხედვით.

სიდიდეების ჯამი, რომლებიც შედიან აგზნების ავტომატური რეგულატორის კანონში და გაძლიერება ჯამური სიგნალების ხორციელდება რეგულატორის მაძლიერებლის ბლოკში (მბ). მისი განსაკუთრებლობა მდგომარეობს იმაში, რომ ის შესრულებულია ცვლად დენზე. მაძლიერებლის ასეთი სქემა საშუალებას იძლევა გამოსავალზე მივიღოთ ძაბვა ± 20 ვ, რომელიც საგრძნობლად მეტია $\pm 12,6$ ვ – კვების წყაროზე. მბ-ის ფუნქციონალური ელემენტები 10 შესასვლელზე, მოდულაციის სიხშირე 5 კჲჲ, მოდულატორი, ორტაქტიანი სიმძლავრის მაძლიერებელი, დემოდულატორი. მაძლიერებლის სქემა პრაქტიკულად უინერციოა. გარდა ამისა სქემა – ტექნიკის გადაწყვეტის შედეგად მაქსიმალური დენი მაძლიერებლების გამოსავალზე შეზღუდულია 0,06 ა მნიშვნელობამდე. ამასთან დაკავშირებით არ საჭიროებს რეგულატორის დენის შემზღუდველს მის გამოსავალზე მოკლე შერთვის მოხდენის დროს.

გენერატორის ძაბვის გადახრის სიგნალი მოცემული მნიშვნელობიდან და ძაბვის პირველი წარმოებულის ფორმულირდება ძაბვის ბლოკში (ძბ). რეგულატორის სწრაფქმედების ამადლებისათვის გამოიყენება გენერატორის ძაბვის გადახრის გაზომვისათვის ორარხიანი სქემა. სწრაფქმედების არხი აწყობილია ძაბვის ამპლიტუდური მნიშვნელობის გადახრის გაზომვაზე, ხოლო ინერციულობის არხი კი სამფაზა ძაბვის საშუალო მნიშვნელობის გადახრაზე. ამპლიტუდური ძაბვის მნიშვნელობის გადახრის გაზომვა ხორციელდება გენერატორის ძაბვის ცალკეული ფაზებისათვის ცალ-ცალკე, ხოლო გაზომვის შედეგი ჯამდება. ამის შემდეგ ჯამური სიგნალი, რომელიც პროპორციულია ΔU , მიეწოდება ძბ ბლოკის გამოსავალზე და აქტიურ დიფერენციატორს, სადაც გარდაიქმნება პირველი წარმოებულის სიგნალად.

სიხშირის ცვალებადობის პროპორციული სიგნალისა და მისი პირველი წარმოებულის (Δf და f') სიგნალის მისაღებად გამოიყენება სიხშირისა და დაცვის ბლოკი (სდბ). აგზნების ავტომატური

რეგულატორში იზომება ცვლადი დენის ძაბვის პერიოდი და არა სიხშირე. აღნიშნული სიგნალის შედარება ხდება ეტალონურთან, რომელიც შეესაბამება გენერატორის ბრუნთა სიხშირის ნომინალურ მნიშვნელობას; შემდეგ სხვაობა, რომელიც პროპორციულია სიხშირის გადახრის, გამოიყოფა RC ფილტრების საშუალებით. გამომაგალი სიგნალი სიხშირის ცვალებადობის და შემდგომ მისი დიფერენცირებით ვლემულობთ სიხშირის წარმოებულს. Δf და f' არხების გამოსავალი ძაბვები მიეწოდება შემაჯამებელი მაძლიერებლის მბ შესასვლელზე. სიხშირის გადახრის სიგნალი ნომინალური მნიშვნელობიდან რეგულატორში გამოიყენება გენერატორის ძაბვის დანაყენის გაზომვისათვის, სიხშირის შემცირების დროს და აგრეთვე დაცვის მოწყობილობისათვის.

ძაბვის რეგულირების კანონში აღნიშნული სიგნალების შეყვანა, როგორცაა ძაბვის წარმოებული, სიხშირე და მისი წარმოებული, როტორის დენის წარმოებული უზრუნველყოფს რეგულირების მაღალ ხარისხსა და მდგრადობის გაზრდას. მეორე მხრივ, ზოგიერთ რეჟიმებში, მაგალითად მ.შ-ის გამორთვის მომენტში და როცა საჭირო ხდება დატვირთვის ჩამოგდება წარმოებულის რეალიზაციის წრედებში მიეწოდება სიგნალები, რომლის მოქმედება აღნიშნულ სიტუაციაში არასასურველია. ამიტომ აგზნების ავტომატურ რეგულატორში გათვალისწინებულია მთელი რიგი ბლოკირებები.

სიხშირის ბლოკში შედის დამცავი მოწყობილობა, რომელიც ბლოკირებას უკეთებს Δf და f' სიგნალების მოქმედებას, როცა ერთდროულად ხორციელდება გენერატორის ძაბვისა და სიხშირის ზრდა. შეჩერება ხდება აგზნების არასასურველი ფორსირების დატვირთვის ჩამოგდების დროს. Δf და f' სიგნალების ბლოკირება ხორციელდება გენერატორის გამორთვის დროს.

გენერატორის მ.შ. გამორთვის მომენტში, განაგზნების სიგნალის კომპენსაციისათვის, რომელიც მიეწოდება სიხშირისა და ძაბვის წარმოებულის წრედების მიხედვით, აგზნების ავტომატური რეგულატორში გათვალისწინებულია აგზნების ფორსირების ბლოკი (აფბ). აფბ-ის შემავალ სიგნალებს წარმოადგენს ძაბვის გადახრის

სიგნალი. აღნიშნული სიგნალი ედარება ფორსირების დანაყენის სიდიდეს კომპარატორზე (რომელიც შეიძლება მდოვრედ რეგულირდებოდეს $0,8 \pm 0,93 U_H$ დიაპაზონში), როცა გენერატორის ძაბვის შემცირება დაბალია დანაყენზე მბ-ს ერთ-ერთ შესასვლელზე მიეწოდება მუდმივი ძაბვის მნიშვნელობა, რომელიც გადააჭარბებს რეგულატორის მარეგულირებელი სიგნალების ყველა ჯამს და ამიტომ გამოიწვევს აარ-ს გამოსავალი სიგნალების რელეურ ცვლილების და აგზნების ფორსირებას. ფორსირება მოიხსნება 0,1 წმ დროის დაყოვნებით მ.შ-ის გამორთვის შემდეგ.

როტორის დენის წარმოებულის სიგნალის გამომუშავება ხორციელდება დენის ბლოკში (დბ). როტორის დენი იზომება ტირისტორული აგზნების ცვლადი დენის მხარეზე. გამზომი წრედი შედგება სამი დენის ტრანსფორმატორისაგან, სამფაზა გამმართველი ბოგირისაგან და ფილტრისაგან. შემდეგ სიგნალი, პროპორციული როტორის დენისა, დიფერენცირდება და მიეწოდება მბ-ს შემაჯამებელი მაძლიერებლის შესასვლელზე.

ეხლა განვიხილოთ აგზნების ავტომატური რეგულატორის ძირითადი არხი – რეგულირება გენერატორის ძაბვის გადახრის მიხედვით მოცემული მნიშვნელობიდან. გენერატორის ძაბვის დანაყენი მიეწოდება რეგულატორის ძაბვის დანაყენის ბლოკიდან ძდბ. დანაყენის შეცვლა შეიძლება განხორციელდეს როგორც ხელით რეგულატორის დილაკიდან, ისე ავტომატურად. ძდბ-ის საშუალებით ხორციელდება რეგულატორის დანაყენის მართვა:

მართვის პულტიდან (სიჩქარით 0,005 ერთ.ძაბვის/წმ), ავარიის საწინააღმდეგო ავტომატიკის მოწყობილობიდან (სიჩქარით 0,05 ერთ.ძაბვის/წმ), ძაბვის დანაყენის მორგების (ძდმ) მოწყობილობიდან თვითსინქრონიზაციის დროს და ზუსტი სინქრონიზაციის დროს, გენერატორის განტვირთვის მოწყობილობიდან მისი გაჩერების დროს რეაქტიული სიმძლავრით.

გარდა ამისა ძდბ-ის საშუალებით ხორციელდება დანაყენის პროგრამული ცვლილება აგზნების ჩართვისა და გამორთვის დროს.

აგზნების ჩართვის ბრძანების დროს უპირველეს ყოვლისა ძდბ ადგენს ძაბვის დანაყენს, რომელიც შეესაბამება მაგალითად ძაბვის $0,3U_H$ მნიშვნელობას, შემდეგ მიეწოდება ბრძანება გადაყვანისა ტირისტორული აგზნების ინვერტორულ რეჟიმში.

ძაბვის დანაყენის ცვლილების პროგრამული მოწყობილობა სინქრონული გენერატორის ჩართვა –გამორთვის დროს წარმოადგენს ახალ ფუნქციას აგზნების ავტომატური რეგულატორის და წარმატებით გამოიყენება ექსპლუატაციაში.

ძაბვის დანაყენის ბლოკი შესრულებულია მართვადი სქემის მიხედვით ხანგრძლივი დროის მესხიერებით ინტეგრატორის ბაზაზე შენახვის რეჟიმით [44]. დანაყენის ცვლილების შემთხვევაში ინტეგრატორის შესასვლელზე მიეწოდება ძაბვა შესაბამის შესასვლელზე (მაგალითად, გენერატორის განტვირთვის პროცესში რეაქტიული სიმძლავრით – ძაბვა, პროპორციულია გენერატორის რეაქტიული დენის მნიშვნელობის), ხოლო გამოსასვლელიდან მოიხსენება სიგნალი რეგულატორის დანაყენის, რომელიც მიეწოდება ძაბვის ბლოკის ერთ-ერთ გამზომ შესასვლელზე. ძაბვის დანაყენის მორგების მოწყობილობა ძდმ მუშაობს როცა გენერატორი ჩართულია ენერგოსისტემაში. გენერატორის თვითსინქრონიზაციის მეთოდით ჩართვის დროს რეგულატორის ძაბვის დანაყენის მორგების მოწყობილობა ჩართულია სინქრონული მანქანის გამომყვანებზე ძაბვასთან, როცა აარ-ის გამოსავალი დაშუნტებულია. ძაბვების მორგება ხორციელდება მანამდე, სანამ მდგენელი ΔU არ გახდება ნულის ტოლი. ამით ძაბვის დანაყენის მორგების პროცესი მთავრდება და აარ ჩაერთვება მუშაობაში.

გენერატორის ზუსტი სინქრონიზაციის დროს ძდმ ადარებს გენერატორის ძაბვის მნიშვნელობას ქსელის ძაბვის მნიშვნელობას, ზემოქმედებს მათ სხვაობაზე და რეგულატორის დანაყენის ცვლილებაზე და ხორციელდება გენერატორის ძაბვის მორგება ქსელის ძაბვასთან. მორგების პროცესის დამთავრების შემდეგ შეიკვრება რელეს კონტაქტები და ნებადართული ხდება სინქრონიზაცია.

ძაბვის ბლოკთან (ძბ) მიეწოდება აგრეთვე ძაბვა რეაქტიული დენის ბლოკიდან (რდბ-1), რომელიც პროპორციულია გენერატორის დენის რეაქტიული მდგენელის, და რდბ-2 ბლოკიდან, გამოსავალი ძაბვა, რომელიც პროპორციულია გენერატორის დენის რეაქტიული მდგენელის, და რდბ-2, გამოსავალი ძაბვა, რომელიც პროპორციულია პარალელურად მომუშავე გენერატორების ჯამური დენის რეაქტიული მდგენელების. პირველი სიგნალის დახმარებით ხორციელდება ან ამამაღლებელი ტრანსფორმატორის რეაქტიული წინაღობის კომპენსაცია, რათა მივიღოთ სინქრონული გენერატორის გარე მახასიათებლის სასურველი სტატიზმი სადგურის მაღალი ძაბვის სალტეზე, ან გარე მახასიათებლის სტაბილიზაცია, რათა მდგრადად გადანაწილდეს რეაქტიული დატვირთვა პარალელურად მომუშავე გენერატორებს შორის საერთო სალტეზე.

პირველ შემთხვევაში სიგნალი რდბ-1-დან მიეწოდება ძბ-ის შესასვლელზე ისე, რომ ინდუქციური დატვირთვის გაზრდის შემთხვევაში გენერატორის ძაბვა გაიზარდოს, ხოლო ძალოვანი ტრანსფორმატორის მაღალი ძაბვის მხარეს შენარჩუნებული იქნეს უცვლელი სტატიზმი, რომლის სიდიდე შეიძლება იყოს რეგულირებადი.

მეორე შემთხვევაში სიგნალი რდბ-1 ბლოკიდან მიეწოდება სხვა ნიშნით და ინდუქციური დატვირთვის გაზრდით გენერატორის მომჭერებზე ძაბვა მცირდება სტატიზმით, რომლის სიდიდე აგრეთვე შეიძლება დავადგინოთ. ძალოვანი ტრანსფორმატორის რეაქტიული წინაღობის კომპენსაციისათვის გამოიყენება სიგნალი რდბ-2-ის ბლოკიდან.

დენის რეაქტიული მდგენელის გაზომვა ორივე ბლოკებში იდენტურია და შესრულებულია ფაზომგრძობიარე გამმართველის სქემის საფუძველზე. ბლოკის შემავალ სიგნალებს წარმოადგენს B ფაზის დენი და ხაზური ძაბვა U_{AC} . სუფთა რეაქტიული დენის შემთხვევაში ($\varphi = \pm 90^\circ$) B ფაზაში დენის ცვლილება ან ემთხვევა ფაზით U_{AC} ძაბვის ცვლილებას, ან იმყოფებიან საწინააღმდეგო ფაზაში. ამ შემთხვევაში ფაზომგრძობიარე გამმართველი ასრულებს გამმართველის ფუნქციას, და მის გამოსავალზე გვაქვს მაქსიმალური

დადებითი ძაბვა ან უარყოფითი პოლარობით. როცა $\varphi < 90^\circ$ გამოვლინდება თვისება ფაზამგრძობიარე გამმართველის, და მის გამოსავალზე საშუალო დენის მნიშვნელობა იცვლება $I \sin \varphi$ -ის პროპორციულად. შემდგომში აღნიშნული სიგნალი გასაშუალებდება ინტეგრატორის საშუალებით და გაიფილტრება.

გარდა რეგულირების ძირითადი არხებისა, აგზნების ავტომატური რეგულატორში არსებობს დამატებითი არხები და მოწყობილობა, რომლის დანიშნულებაცაა შეასრულოს ფართო მოცულობის დაცვითი და ტექნოლოგიური ფუნქციები. გენერატორის დაცვის არხი როტორის ან სტატორის დენის გადატვირთვისგან, წარმოქმნიან დენის ბლოკს, გადატვირთვის გაზომვის ბლოკი (გგბ) და როტორის დენის შემზღუდველი ბლოკი (რდშბ).

ჩვეულებრივად სტატორისა და როტორის გადატვირთვის დენების მაქსიმალური დასაშვები მნიშვნელობები არ აჭარბებს ორჯერადს, ნომინალურ დენთან შეფარდებით. აღნიშნული ზღვარზე მეტი დენის შემთხვევაში დენი უნდა შემცირდეს დროის დაყოვნების გარეშე. მცირე გადატვირთვები დასაშვებია დროის გარკვეულ ინტერვალში, დამოკიდებულია გადატვირთვის ჯერადობაზე. რეგულატორში გადახურების შეზღუდვა ხორციელდება როტორის ან სტატორის მაქსიმალური დენის მიხედვით. სიგნალის გადამწოდით შეზღუდვის დროს გამოიყენება გამოსავალი სიგნალი დენების სელექტორიდან, განლაგებული დბ ბლოკში.

შემსრულებელ მოწყობილობად გადატვირთვის შემზღუდველად წარმოგვიდგება რდშბ ბლოკი. დენის შეზღუდვა $2I_{FH}$ დონეზე ხორციელდება ორი მეთოდით. როდესაც დენის მნიშვნელობა მიაღწევს $1,8-2,0 I_{FH}$, ამოქმედდება ფორსირების შემზღუდველი კვანძი, რომელიც დაამოკლებს რეგულატორის გამოსავალს სტაბილიტრონის გავლით მიწაზე. რეგულატორის გამოსავალი ძაბვის მნიშვნელობა იზღუდება სიგნალით, რომელიც შეესაბამება როტორის დენს ორჯერადი მნიშვნელობით.

გარდა ამისა, გააჩნია სტატორის დენის შემზღუდველი, ის ხორციელდება დენის რეგულატორით, რომელიც ამოქმედდება იმ

შემთხვევაში, როცა დენის მნიშვნელობა გადააჭარბებს $2I_H$ მნიშვნელობას. დენის რეგულატორი ზემოქმედებს უშუალოდ რეგულატორის გამოსავალზე, ამოკლებს მას მიწაზე მართვადი წინაღობის (ტანზისტორის) გავლით. დენის რეგულატორის დანაყენი შეიძლება შეიცვალოს $1,5I_H$ ან I_H ტირისტორული გარდამქმნელის გადატვირთვის შედეგად ავარიის საწინააღმდეგო ავტომატიკისა და დაცვის სიგნალის მიხედვით.

$2I_H$ -ზე გადატვირთვის შემთხვევაში და გრაგნილების გადახურების ფიქსირების შემთხვევაში დენის შეზღუდვა ხორციელდება აგრეთვე ორი გზით: ხორციელდება სინქრონული გენერატორის ძაბვის დანაყენის შემცირება მანმადე, სანამ დენი გადატვირთულ გრაგნილში არ მიაღწევს თავის ნომინალურ მნიშვნელობას. (რდშბ-ის ზემოქმედება ძბ-ზე); როტორის დენის შემცირების პროცესის დაჩქარებისათვის მოკლე დროით, ჯერ კიდევ ძაბვის დანაყენმა ვერ მიაღწია მნიშვნელობას, რომელიც შეესაბამება ნომინალურ დენს, მუშაობაში შედის დენის რეგულატორი, რომელიც ახორციელებს აგზნების რეგულირებას გადატვირთულ გრაგნილში, ნომინალური მნიშვნელობიდან დენის გადახრის მიხედვით.

აგზნების ფორსირების შემთხვევაში, გამოწვეული მ.შ. ენერგოსისტემაში, შემზღუდველების მოქმედება ბლოკირდება და მოკლე დროით იზრდება აგზნების დენი ნომინალური მნიშვნელობაზე მეტად დროით არა ნაკლები $0.5I_H$.

გადატვირთვის გაზომვის ბლოკის დანიშნულებათა აკონტროლოს გენერატორის თბური მდგომარეობა იმ მიზნით, რომ განისაზღვროს დასაშვები გადატვირთვის დრო დენის მიხედვით, აგრეთვე დროის დაყოვნებით გადატვირთვის განმეორებითი აკრძალვა გენერატორის გაცივების რეჟიმში. გადატვირთვის დასაშვები დრო განისაზღვრება დასაშვები გადატვირთვის მრუდეებიდან, რომელსაც იძლევა გენერატორების დამამზადებელი ქარხანა. ფუნქციონალურად გვბ შედგება გადატვირთვის გამზომისაგან, ანალოგიური გამომრთველი მოწყობილობიდან და გადახურების ფიქსატორისგან, გამოსავალი

სიგნალი, რომელიც წარმოადგენს ბრძანებას რდშბ-ის შემსრულებელი მოწყობილობისათვის.

აგზნების ავტომატურ რეგულატორში შესაძლებელია გამოიკვეთოს გენერატორის გაცივების ორი რეჟიმი: განმეორებითი გადატვირთვის დაშვება (ამ შემთხვევაში ხდება გათვალისწინება გენერატორის მიმდინარე თბური მდგომარეობა) და მისი აკრძალვა გენერატორის სრულ გაცივებამდე.

გენერატორის მიერ მოთხოვნილი მეტისმეტად გაზრდილი რეაქტიული სიმძლავრის მნიშვნელობის შეზღუდვისათვის უკმარაგზნების რეჟიმში ფუნქციონირებს აგზნების მინიმალური შეზღუდვის ბლოკი ამშბ, რომელიც ზემოქმედებს ძბ ბლოკზე. აგზნების შეზღუდვისათვის ძაბვის რეგულირების კანონში შემოდის მდგენელი, რომელიც პროპორციულია გენერატორის დენის გადახრისა დანაყენისგან, რომელიც დამოკიდებულია გენერატორის აქტიური დენის მნიშვნელობაზე. გარდა ამისა, მდგრადობის გაზრდის მიზნით აღნიშნულ რეჟიმში გენერატორის მუშაობისას ძაბვის შემზღუდველში შეყვანილია სიგნალი, რომელიც პროპორციულია როტორის დენის წარმოებულის. ამშბ-ის ფუნქციონალურ ელემენტს წარმოადგენს გენერატორის აქტიური და რეაქტიული დენების მდგენელების გამზომი, ამავე დროს გენერატორის ძაბვა და მოწყობილობა, რომელიც არეგულირებს შემზღუდველის დახრის მახასიათებელს.

აგზნების ავტომატური რეგულატორის შემადგენლობაში ჩართულია კონტროლის ბლოკი (კბ), რომელიც იძლევა ინფორმაციას რეგულატორის მუშაობის ვარგისიანობაზე და ახორციელებს ავტომატურ გადასვლას პროპორციული მოქმედების სარეზერვო რეგულატორზე, პირველი რეგულატორის მწყობრიდან გამოსვლის შემთხვევაში.

რეგულატორის ბლოკების მკვებავი ძაბვები: სტაბილიზირებული მუდმივი ძაბვა $\pm 12,6$ ვ და ძაბვა $\pm 6,5$ ვ. ძირითადი კვების წყარო (კწ) იკვებება საკუთარი მოხმარების გენერატორის ძაბვიდან 3×380 ვ. სარეზერვო ბლოკი მუდმივი დენის ოპერატიული კვება (მდოკ) ძაბვით 220 ვ. ორივე კვების ბლოკი წარმოადგენს იმპულსური კვების წყაროს

ენერჯის ინდუქციური მაგროვებით და უზრუნველყოფილია დაცვებით დენის მიხედვით გადატვირთვისაგან და ბლოკის გამოსასვლელზე ძაბვის ამადლებისაგან.

ზემოთ აღნიშნული ბლოკების გარდა აგზნების სისტემის კომპლექტში საჭიროების შემთხვევაში ემატება მყარი უკუკავშირის ბლოკი (მუკბ), რომელიც შედგება ძაბვის გამყოფისაგან, აგზნების ძაბვის გამზომი მოწყობილობისაგან და გაღვანური გამყოფი მოწყობილობისაგან. აღნიშნული მოწყობილობის ბლოკი მოთავსებულია აგზნების მართვის სისტემის კარადაში. გათვალისწინებულია შესაძლებლობა უკუ კავშირის კოეფიციენტის დისკრეტული ცვლილებისა $0,015 \pm 0,025$ ზღვრებში. მუკბ-ის მუშაობის დროს ჯამური მაძლიერებლის გადაცემის კოეფიციენტი აუცილებელია გაიზარდოს 5-6-ჯერ.

აგზნების ძაბვის მყარი უარყოფითი უკუ კავშირი (მუუკ) ძირითადად დანიშნულია აგზნების მახასიათებლების გაუმჯობესებისათვის. აგზნების ავტომატური რეგულატორის საექსპლოატაციო გამოცდილებამ აჩვენა, რომ აგზნების სისტემაში სტატიკური ტირისტორული გარდამქმნელის მუშაობის დროს შეიძლება სისტემამ იმუშაოს აღნიშნული უკუკავშირის გარეშე.

აგზნების ავტომატური რეგულატორში მიკროპროცესორების გამოყენება შესაძლებლობას ხდის რეჟიმების შენარჩუნების სიზუსტის ამადლებას, შესასრულებელი ფუნქციების მოცულობის გაზრდას, კერძოდ ავტომატური ადაპტირება რეგულატორის ენერჯოსისტემის მუშაობაში შეცვლილი პირობასთან, შესაძლებლობა გვეძლევა მივიღოთ მეტი სწრაფქმედება, მივიღოთ უნიფიცირებული გადაწყვეტილება და მათ საფუძველზე მცირე დანახარჯები [45,46,47].

ციფრული ტიპის აგზნების ავტომატური რეგულატორი ახალი სტრუქტურული და ფუნქციონალური ელემენტებით განსხვავდება ნახევრადგამტარული აგზნების ავტომატური რეგულატორისაგან პროპორციული – ინტეგრალური – დიფერენციალური ძაბვის რეგულირების კანონით (პიდ), აგზნების დენის მიხედვით ღრმა უკუკავშირი (როგორც უწოდებენ როტორის დენის რეგულატორი),

უზრუნველყოფს სწრაფქმედების გაზრდას, სიზუსტეს და რეჟიმების სტატიკურად მდგრადი არეს გაფართოებას, სტატიკური მახასიათებლების ფორმირების მაღალი სიზუსტე, ძაბვის ცვლილების შესაძლებლობა ავარიის საწინააღმდეგო ავტომატიკის ბრძანების მიხედვით, აგრეგატის სიმძლავრის მიხედვით სტაბილიზაციის არხის თვითაწყოება, აგზნების დენის ან ძაბვის რეგულირების რეჟიმების მართვა, თავსებადობა ენერგობლოკის და მთლიანად ელექტროსადგურის მართვის ავტომატიზირებულ სისტემებთან, დისტანციური ან ადგილობრივი გადაწყობა რეგულატორის, გენერატორის სრული შესაძლებლობის გამოყენება უკმარავზნების რეჟიმში მუშაობის დროს, მომსახურე პერსონალის ინფორმაციის გაფართოებული სისტემა რეგულატორის ცალკეული არხების მუშაობაზე და გენერატორის მუშაობის რეჟიმებზე, რეგულატორის ფუნქციონირების ალგორითმის ცვლილების შესაძლებლობა, მისი კონსტრუქციის ცვლილების გარეშე.

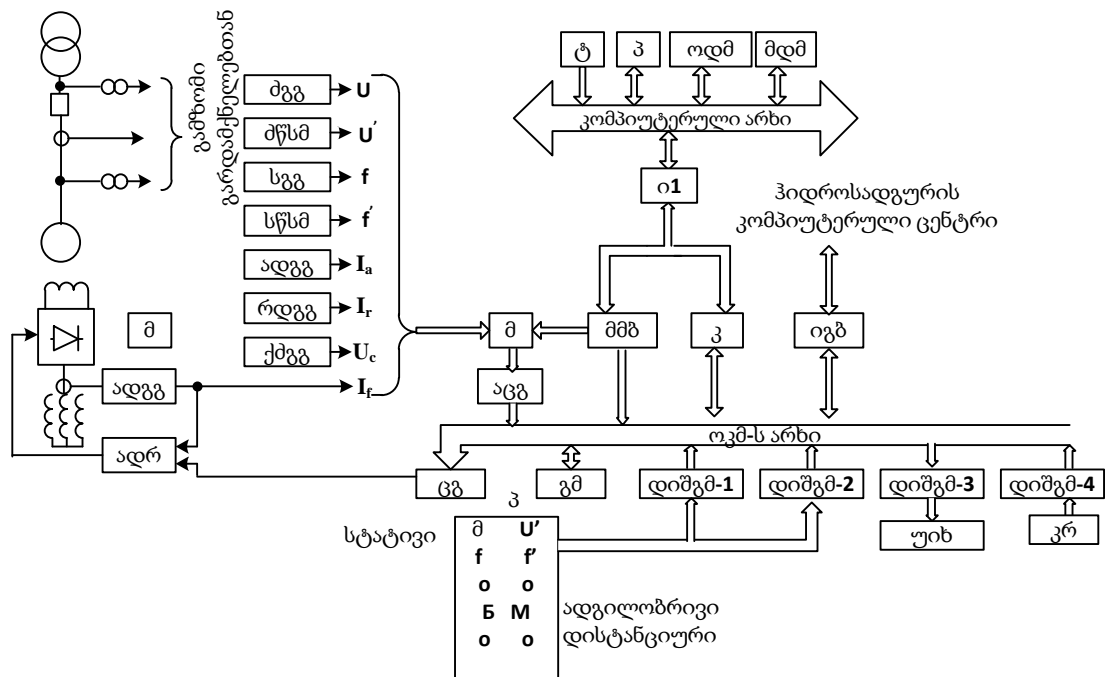
ანალოგიური ინტეგრატორს გააჩნია შედარებით ნაკლები სიზუსტე. ციფრული ინტეგრატორი ხასიათდება მაღალი სიზუსტით. ეს არსებითი გარემოება საშუალებას გვაძლევს შევიყვანოთ რეგულატორში ინტეგრირებული მდგენელი რეგულირების კანონში, რის შედეგად იზრდება სტატიკური სიზუსტე რეგულირების.

ციფრული ტიპის აგზნების ავტომატური რეგულატორში აგზნების რეგულირება ხორციელდება:

1) ძაბვის გადახრის და წარმოებულის მიხედვით, სიხშირის ცვლილების და წარმოებულის მიხედვით; 2) ძაბვის გადახრის და რეაქტიული დენის ცვლილების ინტეგრალის მიხედვით, სტატორის დენის აქტიური მდგენელის წარმოებულის და როტორის დენის წარმოებულის ფუნქციის მიხედვით. ძაბვის რეგულირების კანონი შეიძლება ჩაიწეროს შემდეგი სახით:

$$U_{\text{აგ}} = k_{U0}\Delta U + k_{U1}U' + k_{f0}\Delta f + k_{f1}f' + k_2 \int (\Delta U + \beta I_p) dt + k_3 I_d I_f'$$

ციფრული ტიპის აგზნების ავტომატური რეგულატორის ბლოკ-სქემა ნაჩვენებია ნახ. 5.2 [43,48].



ნახ.5.2. აგზნების ციფრული რეგულატორის ბლოკ-სქემა.

ძაბვის გაზომვის გარდამქმნელი (ძგგ), ძაბვის წარმოებულის სიგნალის მაფორმირებელი (ძწსმ), სიხშირის გაზომვის გარდამქმნელი (სგგ), სიხშირის წარმოებულის სიგნალის მაფორმირებელი (სწსმ), აქტიური დენის გაზომვის გარდამქმნელი (ადგგ), რეაქტიული დენის გაზომვის გარდამქმნელი (რდგგ), აგზნების დენის რეგულატორი (ადრ), აგზნების დენის გაზომვის გარდამქმნელი (ადგგ), ქსელის ძაბვის გაზომვის გარდამქმნელი (ქგგ), ტ-ტაიმერი, პ-პროცესორი, (ოდმ)-ოპერატიული დამამახსოვრებელი მოწყობილობა, მდმ-მუდმივი დამამახსოვრებელი მოწყობილობა, ი1-ინტერფეისის ბლოკი, (მ)-მულტიპლექსორი, მისამართის და მართვის ბლოკი (მმბ), კ-კომპუტატორი, ინფორმაციის გაცვლის ბლოკი (იგბ), ანალოგი-ციფრული გარდამქმნელი (აცგ), ციფროანალოგიური გარდამქმნელი (ცგ), ობიექტის კავშირის მოწყობილობა (ოკმ), გამრავლების მოდული (გმ), დისკრეტული ინფორმაციის შემყვანის და გამოყვანის მოდული (დიშგმ), პ-რეგულატორის პულტი, უნივერსალური ინდიკაციის ხელსაწყო (უიხ), კლავიშთან რეგისტრი (კრ), U-ძაბვა, U'-ძაბვის წარმოებულის, f და f'-სიხშირე და მისი წარმოებულის, I_α და I_p -

გენერატორის აქტიური და რეაქტიული დენი, i_f -აგზნების დენი, U_c -სისტემის ძაბვა.

გამზომი სისტემები წარმოდგენილია ინფორმაციის გარდამქმნელი ჯგუფით, რომლის გამოსასვლელში ფორმულირდება უნიფიცირებული სიგნალები, რომლებიც თავსებადია ანალოგო-ციფრული გარდამქმნელის შესასვლელში. აგზნების რეგულატორის გამზომი ნაწილი უზრუნველყოფს გენერატორის ძაბვის, გენერატორის აქტიური და რეაქტიული დენების, როტორის დენისა და სიხშირის ორობითი კოდის ფორმირებას.

პრინციპულად შეიძლება მივიღოთ აუცილებელი მნიშვნელობა, გვაქვს რა საწყისი მონაცემები დენისა და ძაბვის მყისი მნიშვნელობების. ეს ყველაფერი ცნობილია, როგორც პირდაპირი გაზომვის ვარიანტი. მისი უპირატესობა მდგომარეობს იმაში, რომ არ საჭიროებს დამატებით სპეციალურ აპარატურას. მეორე ვარიანტით გამზომი სისტემა დაკავშირებულია შუალედური გამზომი გარდამქმნელის არსებობასთან.

გამზომი სისტემების ორივე ვარიანტის ანალიზმა აჩვენა, რომ თუ პირველი ვარიანტისათვის გამოიყენება 16-თანრიგიანი მიკროპროცესორი სწრაფქმედებით 1 მილიონი ოპერაციით წამში, პირდაპირი ციფრული გაზომვით შეიძლება უზრუნველყოფილი იქნეს ისეთივე სიზუსტის მაჩვენებელი, სწრაფქმედებისა და დაბრკოლება მდგრადობის, როგორცაა ვარიანტში გამზომი გარდამქმნელის არსებობისას.

კავშირის მოწყობილობის ბლოკი ობიექტით წარმოდგენილია მოდულების ჯგუფით, გაერთიანებული საერთო სალტეებით და დაკავშირებული ინტერფეისის ბლოკით კომპიუტერის არსთან მულტიპლექსორით ანალოგიური გამზომი სისტემასთან. ობიექტის კავშირის ბლოკში შედის აგრეთვე რეგულატორის პულტი და ინფორმაციის გაცვლის მოდული სადგურის ავტომატიზირებული მართვის სისტემის ზედა დონით. რეგულატორს გააჩნია სახელური რეგულირების კოეფიციენტის დანაყენის რეგულირებისათვის (ცვლილებისათვის) შემდეგი პარამეტრებისათვის $\Delta U, U', \Delta f, f'$.

დისტანციური გადაწყობა რეგულირების კოეფიციენტების ხორციელდება სადგურის კომპიუტერული არხის მეშვეობით.

კომპიუტერის ბლოკი შეიცავს საერთო არხს, რომელზეც შეერთებულია პროცესორი, ტაიმერი, აგრეთვე ოპერატიული და მუდმივი დამამახსოვრებელი მოწყობილობა.

გათვალისწინებულია შემდეგი ძირითადი რეჟიმები: გაშვება, სინქრონიზაცია, ძაბვის რეგულირება, აგზნების დენის რეგულირება. ბოლო რეჟიმი მიიღწევა რეგულატორის უკუკავშირის გათიშვით, შედეგად გამოირიცხება უკუ კავშირი აგზნების დენის მიხედვით და მიწოდება აგზნების დენის მუდმივი მნიშვნელობა.

აგზნების დენის რეგულირების რეჟიმი შეიძლება აგრეთვე განხორციელდეს გენერატორის უქმი სვლის მუშაობის დროს, და იმ შემთხვევაშიც, როცა გენერატორი ჩერდება აგზნების შენარჩუნებით, როცა სასურველია შევინარჩუნოთ ფარდობა $U/f = const$.

სინქრონიზაციის პროცესს ციფრული აარ-ის დახმარებით გააჩნია გარკვეული უპირატესობა. ჩვეულებრივად, სინქრონიზაციის პროცესში ხორციელდება ავტომატური დანაყენის, გენერატორის ძაბვისა და ქსელის ძაბვის სხვაობის დაყვანა 0,5%-მდე. ციფრული აარ-ს შეუძლია არა მარტო მორგება დანაყენის, არამედ განახორციელოს თვალთვალი ქსელის ძაბვის ცვალებადობის.

ინტეგრალური მდგენელი ძაბვის რეგულირების კანონში ამადლებს რეგულირების წერტილში ძაბვის დაჭერის სიზუსტეს და უზრუნველყოფს მკაცრი შესატყვისობას გენერატორის რეაქტიული სიმძლავრისა მოცემულ სიდიდესთან.

მეორე დამატებითი პარამეტრი სტაბილიზაციის – ნამრავლი აქტიური დენისა აგზნების დენის პირველ წარმოებულზე – გამოირიცხავს ზოგიერთ ნაკლს, დამახასიათებელი სიხშირის სიგნალისთვის, და აფართოებს მდგრადობის არეს რეგულირების კოეფიციენტების სიბრტყეში სიხშირის ცვალებადობის და მისი წარმოებულის მიხედვით უკმარაგზნების რეჟიმში.

ციფრული აარ-ის საშუალებით იოლად შედის კომპიუტერის მეხსიერებაში დამოკიდებულებები როტორისა და სტატორის

გადატვირთვის დენებისა დროში. შეზღუდვა სტატორის ან როტორის დენის მიმდინარეობს იმისდა მიხედვით, რომელი მათგანი შეესაბამება გადატვირთვის ხანგრძლივობის მინიმალურ დასაშვებ მნიშვნელობას. რეაქტიული სიმძლავრის მოთხოვნის რეჟიმში ციფრული რეგულატორი უშვებს მოკლე დროით მუშაობას რეჟიმში, რომელიც შესაძლებელია მდგრადობის მიხედვით, მაგრამ არა მისაღებია შუბლური ზონის ხანგრძლივი გახურების პირობის მიხედვით. ყოველივე ამან შეიძლება განავითაროს ავარია ხაზის გამორთვის შემთხვევაში, გენერატორის და მომხმარებლის.

გამოკვლევებმა აჩვენა, რომ ციფრული რეგულატორი უზრუნველყოფს იგივე ზღვარს გენერატორების სტატიკური და დინამიკური მდგრადობის, როგორც ნახევრადგამტარული აარ ძლიერი მოქმედების. ორივე რეგულატორებს აძლევენ კარგ რხევების დემფირებას. მთელი რიგი სხვა მაჩვენებლებით ციფრული რეგულატორს გააჩნია უპირატესობა ნახევრადგამტარულ რეგულატორთან შედარებით (ცხრ.5.1).

ცხრილი 5.1.

რეგულატორების შედარებითი მახასიათებლები

	ნახევრადგამტარული	ციფრული
სტატიკური სიზუსტე ძაბვის შენარჩუნების, %	1	0,1
თანაფარდობა ზღვრული სიმძლავრეებისა თვითგაქანების პირობის მიხედვით, სტაბილიზაციის არხის გამორთვის შემთხვევაში	1	1,6
თანაფარდობა ზღვრული სიმძლავრეებისა თვითგაქანების პირობის მიხედვით, სტაბილიზაციის არხის არსებობის შემთხვევაში	1	1
დასაშვები გადახრა რეაქტიული სიმძლავრის, როცა გამორიცხულია ჯგუფური რეგულირება, %	50	1
ინფორმაციის გადაცემა ცენტრალურ პულტზე გენერატორის სინქრონიზაციის დროს ძაბვების გათანაბრების დრო, წმ	არა	ღიახ
გენერატორის სინქრონიზაციის დროს ძაბვების გათანაბრების დრო, წმ	-	0,5
ძაბვის დონის პრიორიტეტული მართვა	არა	ღიახ

აუცილებელია აღინიშნოს, რომ ციფრული რეგულატორის უპირატესობა შეიძლება უფრო მეტად გამოვლინდეს, თუ იქნება დადგენილი ადაპტაციის პრინციპი და მისი რეალიზაციის მეთოდი.

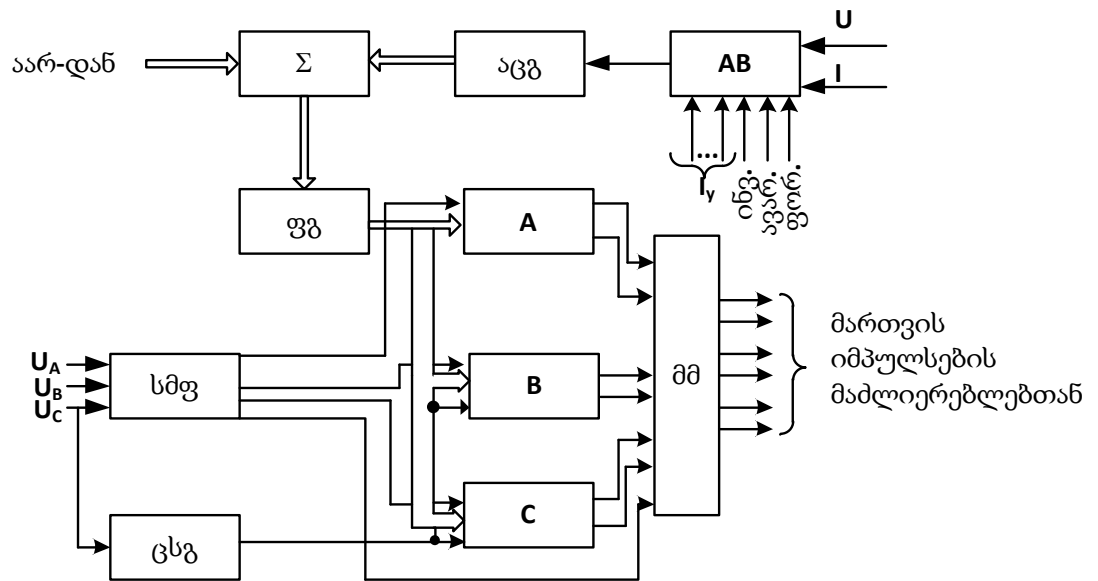
მიკროპროცესორული ტექნიკის გამოყენების არსებით სფეროს მიეკუთვნება ტირისტორული გარდამქმნელის მართვის ციფრული სისტემა. მან უნდა უზრუნველყოს ტირისტორების მართვის იმპულსების მიმდევრობის ფორმირება და მათი ფაზის ცვლილება ძაბვის სიდიდის შესაბამისად, მოდებული ტირისტორზე, და სიგნალებით, მიწოდებული აგზნების ავტომატური რეგულატორიდან ან საკუთრივ მართვის ციფრული სისტემიდან.

წარმატებები ციფრული ინტეგრალური მიკროსქემების წარმოების ტექნოლოგიაში მოგვიწოდებს დაუბრუნდეთ მართვის ციფრულ მეთოდებს, მხოლოდ ახალი ელემენტების ბაზაზე.

ფუნქციონალური სქემა ტირისტორული გარდამქმნელის ციფრული მართვის სისტემით მოცემულია ნახ. 5.3.

აღნიშნულ სისტემაში ინფორმაცია, მოცემული ციფრულ ფორმაში, უშუალოდ გარდაიქმნება მართვის იმპულსების ფაზური ძვრის კუთხეში ტირისტორების გაღების მომენტის მიმართ. გარდაქმნა მოცემული კოდის დროის ინტერვალში ხორციელდება მრიცხველის საშუალებით, იმპულსების ათვლის წარმართვით, შექმნილი სპეციალური გენერატორით. ათვლის სიგნალს წარმოადგენს კომუტაციის ძაბვის ნულზე გადასვლის მომენტი, ხოლო მართვის იმპულსი წარმოიქმნება მრიცხველის განულების მომენტში [49,50,51].

მართვის სისტემა შედგება შემდეგი ფუნქციონალური მოდულებისაგან: სამი მრიცხველი A, B და C (ფაზაზე ერთი მრიცხველი), ცვლადი სიხშირის იმპულსების გენერატორი – (ცსიგ), სინქრონიზაციის მოწყობილობა ფილტრით –(სმფ), ფუნქციონალური გარდამქმნელი ფ.გ., სუმატორი Σ , ანალოგიური შემყვანის მოდული AB (აცგ)-თი და მართვის მოწყობილობა (მმ).



ნახ.5.3. ტირისტორული გარდამქმნელის ფუნქციონალური სქემა ციფრული მართვის სისტემით

მოქმედების პრინციპით სისტემა სინქრონულია, სამარხიანი; მართვის კუთხის ცვლილების დიაპაზონი 0-დან 170 ელ. გრად. მრიცხველი ათი თანრიგია, ამიტომ ერთ კოდს შეესაბამება კუთხე 0,2 ელ.გრად.

აგზნების სისტემის მართვის სიგნალები (ფორსირება, დაცვა, როცა მწყობრიდან გამოდის გარკვეული რიცხვი ვენტილების, სიგნალი გარდამქმნელის გადაყვანაზე ინვერტორულ რეჟიმში მანქანის გაჩერების დროს) მიეწოდება ანალოგიურ ფორმაში. მათი რეალიზაცია ხორციელდება ანალოგიური შემყვანის გავლით. ამასთან ერთად, ანალოგიური შემყვანი ახორციელებს აარ-ს სარეზერვო ფუნქციას. ამავე დროს ის ასრულებს ამოცანას პროპორციული მოქმედების ძაბვის რეგულატორის. მას გააჩნია შემცირებული მაძლიერებელი კოეფიციენტი ძაბვის გადახრის მიხედვით (რიგით 20).

მართვის სისტემაში გათვალისწინებულია აგრეთვე შესაძლებლობა მუშაობის ანალოგიური რეგულატორიდან ანალოგიური შემყვანის პლატის გავლით. პლატის დახმარებით შეიძლება უზრუნველყოფილი იქნას, დამოუკიდებელი რეგულირების არხი სინქრონული მანქანის რეჟიმის პარამეტრების ნებისმიერი მნიშვნელობისათვის.

ანალოგიური შემყვანის მოწყობილობა, შემავალი სიგნალები (დანაყენი, წანაცვლება, აგზნების ძაბვის ან დენის უკუკავშირის სიგნალი, აგარიის საწინააღმდეგო ავტომატიკის მოწყობილობიდან და ა.შ.), რომელიც წარმოდგენილია ანალოგიურ ფორმაში, დაკავშირებულია დანარჩენ სისტემასთან 10-თანრიგიანი აცვ-თი გარდამქნელის 40 მკ წმ-ის სიხქარით.

სიგნალები აარ და აცვ-დან მიეწოდება სუმატორში სხვადასხვა დროში შესაბამისი სიხშირით თითოეული მოწყობილობას.

ფუნქციონალური გარდამქმნელი წარმოადგენს მუდმივ დამამახსოვრებელ მოწყობილობას, რომელშიც ჩაწერილია ფუნქციის მნიშვნელობების მასივი. ფუნქციონალური გარდამქმნელიდან მართვადი სიგნალები გადაიწერება მრიცხველში.

სიგნალი, რომელიც ნებას რთავს ანგარიშზე, მიეწოდება მრიცხველს სინქრონიზაციის პლატიდან. აღნიშნული სიგნალი სინქრონიზირებულია ხაზური კომუტაციის ძაბვის ნულთან გადასვლის მომენტთან.

ღუწი იმპულსები სისტემაში მიეწოდება ცვლადი სიხშირის გენერატორიდან (ცსიგ), მოქმედებს ისე, რომ მასინქრონებული ძაბვის სიხშირის ცვალებადობის დროს იმპულსების რიცხვი აღნიშნული ძაბვის პერიოდში დარჩეს მუდმივი. უნდა აღინიშნოს, რომ კომპიუტერული ტექნიკის გამოყენება პერსპექტიულია არა მხოლოდ აარ-სთვის ტირისტორების მართვის სისტემაში, არამედ უფრო დიდი გეგმებისათვის როგორცაა ენერგეტიკული აგრეგატების მართვისათვის. აღნიშნული, პირველ როგში ეკუთვნის აგრეგატების აქტიური სიმძლავრისა და სიხშირის რეგულირების ციფრულ სისტემებს.

აგზნების სისტემებს, აგრეგატების აქტიური სიმძლავრისა და სიხშირის რეგულირებას მიკროპროცესორული შესრულებით გააჩნია ბევრი იდენტური ელემენტები (კვების წყაროები, გამზომი ელემენტები, პროცესორები და ა.შ.) ყოველივე ეს იძლევა შესაძლებლობას ფუნქციონალური ურთიერთზემოქმედებისა.

და ბოლოს დაუბრუნდეთ მიკროპროცესორების გამოყენებას აგზნების სისტემაში, განსაკუთრებით შევჩერდეთ მოწყობილობაზე

მართვის, კონტროლის, დაცვის და სიგნალიზაციის. რადიკალურად მარტივდება კონსტრუქცია, მიიღწევა იმედიალობის ამაღლება, ფუნქციის გაფართოება, გაბარიტების და ღირებულებას შემცირება. აგზნების სისტემა გახდება სრულფასოვანი ქვესისტემა ელექტროსადგურის ავტომატიზირებული მართვის სისტემის. ამიტომ მიკროპროცესორული ტექნიკის დანერგვა განსახილველი მოწყობილობაში წარმოადგენს მნიშვნელოვან პირველხარისხოვან ამოცანას.

5.3. ენგურჰესის 306 მგვა სიმძლავრის ჰიდროგენერატორის ტირისტორული აგზნების მოწყობილობებში ექსპერიმენტალური ელექტრომაგნიტური პროცესები

ცხრილებში 5.2, 5.3, 5.4, 5.5, 5.6 მოცემულია ჟურნალის ნუსხიდან ამოღებული შეტყობინებების ტექსტი თარიღის დროს კლასის ჯგუფის და კოდის ნომერის ჩვენებით. შეტყობინების ტექსტში ნაჩვენებია სხვადასხვა სახის გამაფრთხილებელი ინფორმაცია, როგორცაა მაგალითად: გენერატორის დაუბალანსებელი ტვირთი; ხვიათაშორის მოკლე შერთვის გამაფრთხილებელი სიგნალი; სიხშირის სიგნალი; გენერატორის ხვიათა შორის მოკლე შერთვა; სისტემის სიხშირე; უკმარაგზნების შემზღუდველი; მიმმართველის საერთო უწყესივრობა; აგზნების გაფრთხილება; საწყისი აგზნების ამომრთველი ჩართულია; გადატვირთვის სიგნალი; საგენერატორო ამომრთველის უწყესივრობა; უკმარაბვის გამაფრთხილებელი სიგნალი; ტემპერატურის განგაში; გენერატორის დიფერენციალური დაცვა, გენერატორის სალტის დიფ. დაცვით გამორთვა; ქვედა საკისარში ზეთის ზედმეტად დაბალი დონით გამორთვა; გენერატორის დენური გადატვირთვა; ჰიდრაულიკური მართვის საერთო გაფრთხილება; ზედა საკისრის ვიბრაციის გამაფრთხილებელი სიგნალი; ტემპერატურის სიგნალი და სხვა მრავალი. ცხრილებიდან ჩანს თუ რომელი სახის უწყესივრობა მეორდება ხშირად. მაგალითისთვის შეიძლება მოვიყვანოთ ტემპერატურის სიგნალი, გენერატორის დაუბალანსებელი ტვირთი, ხვიათაშორის მოკლედ შერთვის გამაფრთხილებელი სიგნალი და სხვა.

უწესიერობის სახეობის ხშირად განმეორების შემთხვევაში მიღებული უნდა იქნეს შესაბამისი ზომები, მათი აღმოფხვრისათვის.

ნახ. 5.4-5.13 მოცემულია ჰიდროგენერატორის რეჟიმების ელექტრომაგნიტური პარამეტრების ცვლილების ოსცილოგრამები დროში, როგორც დამყარებულ ისე გარდამავალ პროცესებში.

ცხრილი 5.2. შეტყობინების ტექსტი

VSHyCon

471 Mw 132 Mvar

0,00 Hz

11/30/2016 12:50:38

vshk

მიმღები

გ-3

გ-1

გ-4

გ-2

გ-5

ჟურნალის ნუსხა

ფაილი	დრო	კლასი	კატეგორია	კოდის ნომერი	შეტყობინების ტექსტი
759	30/11/16 12:06:36	W	M5M5	KKS 185	გენერატორის დაუბლანსებული ტვირთი Siprotec F11/F21
760	30/11/16 12:06:36	W	M5M5	KKS 217	სვიათაშორის მიაკლედ შერთვის გამაფრთხილებელი სიგნალი
761	30/11/16 12:06:36	W	M5M5	KKS 236	სინძორის სიგნალი
762	30/11/16 12:06:36	A	M5M5	KKS 190	გენერატორის სვიათაშორის მიაკლედ შერთვა
763	30/11/16 12:06:36	W	M5M5	KKS 95	სისტემის სინძორე
764	30/11/16 12:06:36	W	M5M5	KKS 25	უკრაინის უკლედ უფველი
765	30/11/16 12:06:36	W	M5M5	KKS 89	სიგნალი ავტომატის ამოხსნული ჩართულია
766	30/11/16 12:06:36	W	M5M5	KKS 46	მაგნიტური სიგნალი უკლედ
767	30/11/16 12:06:36	W	M5M5	KKS 25	უკრაინის უკლედ უფველი
768	30/11/16 12:06:36	W	M5M5	KKS 59	საფრისი ავტომატის ამოხსნული ჩართულია
769	30/11/16 12:06:36	W	M5M5	KKS 28	ავტომატის ავტომატური
770	30/11/16 12:06:36	W	M5M5	KKS 236	სინძორის სიგნალი
771	30/11/16 12:06:36	W	M5M5	KKS 184	გენერატორის სიგნალი Siprotec F11/F21
772	30/11/16 12:06:36	W	M5M5	KKS 222	საგენერატორო ამომრეგულირების უკლედ
773	30/11/16 12:06:36	W	M5M5	KKS 138	ავტომატის A ამომრეგულირების უკლედ
774	30/11/16 12:06:36	W	M5M5	KKS 139	ავტომატის B ამომრეგულირების უკლედ
775	30/11/16 12:06:36	W	M5M5	KKS 217	სვიათაშორის მიაკლედ შერთვის გამაფრთხილებელი სიგნალი
776	30/11/16 12:06:36	W	M5M5	KKS 213	უკრაინის გამაფრთხილებელი სიგნალი
777	30/11/16 12:06:36	W	M5M5	KKS 141	ავტომატის A და B ამომრეგულირების უკლედ
778	30/11/16 12:06:36	W	M5M5	KKS 217	სვიათაშორის მიაკლედ შერთვის გამაფრთხილებელი სიგნალი
779	30/11/16 12:06:36	W	M5M5	KKS 217	სვიათაშორის მიაკლედ შერთვის გამაფრთხილებელი სიგნალი
780	30/11/16 12:06:36	W	M5M5	KKS 185	გენერატორის დაუბლანსებული ტვირთი Siprotec F11/F21

ფაილის არჩევა

OS AL M1 M2 M3 M4 M5

Pending: 49 To acknowledge: 0 Hidden 0 List: 1000

ცხრილი 5.3. შეტყობინების ტექსტი

VSHyCon

469 Mw | 132 Mvar

0,00 Hz

მათარი

8-3

8-1

8-4

8-2

8-5

11/30/2016 12:51:17

vshk

ჟურნალის ნუსხა

ნომერი	თარიღი	დრო	კლასი	ჯგუფი	კოდის ნომერი	შეტყობინების ტექსტი	კომარა
781	30/11/16	12:06:36	W.	M5M5	KKS 185	ვერტოტორის დაუბალანსებელი ტერმო Siprotec F11/F21	14
782	30/11/16	12:06:37	W.	M5M5	KKS 185	ვერტოტორის დაუბალანსებელი ტერმო Siprotec F11/F21	14
783	30/11/16	12:06:37	W.	M5M5	KKS 188	TUG ტემპერატურის კანცია P20-24	14
784	30/11/16	12:06:37	A	M5M5	KKS 180	ვერტოტორის დიფერენციალური დაცვა	14
785	30/11/16	12:06:37	W.	M5M5	KKS 184	ვალტაჟის სიგნალი Siprotec F11/F21	14
786	30/11/16	12:06:37	A	M5M5	KKS 201	ვერტოტორის დიფერენციალური დაცვა	14
787	30/11/16	12:06:37	W.	M5M5	KKS 211	ვერტოტორის დიფერენციალური დაცვის გამაფრთხილებელი სიგნალი	14
788	30/11/16	12:06:37	W.	M5M5	KKS 220	საღრმის დიფერენციალური დაცვის გამაფრთხილებელი სიგნალი	14
789	30/11/16	12:06:37	A	M5M5	KKS 190	ვერტოტორის სიგნალი	14
790	30/11/16	12:06:37	W.	M5M5	KKS 217	სიგნალის მოკლედ შეჩვივის გამაფრთხილებელი სიგნალი	14
791	30/11/16	12:06:37	A	M5M5	KKS 42	ვერტოტორის დიფერენციალური დაცვის გამაფრთხილებელი სიგნალი	14
792	30/11/16	12:06:37	A	M5M5	KKS 134	ვერტოტორის დიფერენციალური დაცვის უკუბრუნება	14
793	30/11/16	12:06:38	W.	M5M5	KKS 138	ვერტოტორის დიფერენციალური დაცვის უკუბრუნება	14
794	30/11/16	12:06:38	W.	M5M5	KKS 139	ვერტოტორის დიფერენციალური დაცვის უკუბრუნება	14
795	30/11/16	12:06:38	W.	M5M5	KKS 28	ვერტოტორის დიფერენციალური დაცვის უკუბრუნება	14
796	30/11/16	12:06:38	W.	M5M5	KKS 141	ვერტოტორის დიფერენციალური დაცვის უკუბრუნება	14
797	30/11/16	12:06:40	W.	M5M5	KKS 170	ვერტოტორის დიფერენციალური დაცვის უკუბრუნება	14
798	30/11/16	12:06:44	A	M5M5	KKS 188	ვერტოტორის დიფერენციალური დაცვის უკუბრუნება	14
799	30/11/16	12:06:45	A	M5M5	KKS 188	ვერტოტორის დიფერენციალური დაცვის უკუბრუნება	14
100	30/11/16	12:06:45	W.	M5M5	KKS 215	ვერტოტორის დიფერენციალური დაცვის უკუბრუნება	14
101	30/11/16	12:06:55	W.	M5M5	KKS 234	ვერტოტორის დიფერენციალური დაცვის უკუბრუნება	14
102	30/11/16	12:06:55	W.	M5M5	KKS 55	ვერტოტორის დიფერენციალური დაცვის უკუბრუნება	14

Ready

ფაქტორის არჩევა: OS AL M1 M2 M3 M4 M5

Pending: 49 To acknowledge: 0 Hidden: 0 List: 1000

ცხრილი 5.4. შეტყობინების ტექსტი

VSHyCon

471 Mw | 133 Mvar

0,00 Hz

11/30/2016 12:51:50

vshk

მთავარი

გ-3

გ-1

გ-2

გ-4

გ-5

A W. O

A W. O

A W. O

A W. O

შეტყობინების ტექსტი

თარიღი	დრო	კლასი	კატეგორია	კოდის ნომერი	შეტყობინების ტექსტი	სტატუსი
30/11/16	12:07:03	A	M5M5	KKS 56	პიკრული კური მარშის საერთო გათიშვა	OK
30/11/16	12:07:03	W.	M5M5	KKS 108	TUG ტემპერატურის განგაში P20-24	OK
30/11/16	12:07:04	W.	M5M5	KKS 69	TUG-ის საფენის გაწყობა	OK
30/11/16	12:07:11	W.	M3M5	KKS 171	დენი დაზიანება (BL302) <25	OK
30/11/16	12:07:15	W.	M5M5	KKS 68	ტემპერატურის სიგნალი TUG P25-29	OK
30/11/16	12:07:16	W.	M5M5	KKS 30	ზედა სკარის კონტაქტის გამაგრების სიგნალი	OK
30/11/16	12:07:24	W.	M5M5	KKS 30	ზედა სკარის კონტაქტის გამაგრების სიგნალი	OK
30/11/16	12:07:55	W.	M5M5	KKS 234	სვერული სარქველი ხელით მართვა	OK
30/11/16	12:07:55	W.	M5M5	KKS 55	პიკრული კური მარშის საერთო გათიშვა	OK
30/11/16	12:07:56	W.	M5M5	KKS 68	ტემპერატურის სიგნალი TUG P25-29	OK
30/11/16	12:07:56	W.	M5M5	KKS 68	ტემპერატურის სიგნალი TUG P25-29	OK
30/11/16	12:07:56	W.	M5M5	KKS 68	ტემპერატურის სიგნალი TUG P25-29	OK
30/11/16	12:07:56	W.	M5M5	KKS 68	ტემპერატურის სიგნალი TUG P25-29	OK
30/11/16	12:07:57	W.	M5M5	KKS 155	დენი დაზიანება 2-ში დაზიანება (BP102) <0,5	OK
30/11/16	12:08:00	W.	M5M5	KKS 68	ტემპერატურის სიგნალი TUG P25-29	OK
30/11/16	12:08:01	W.	M5M5	KKS 68	ტემპერატურის სიგნალი TUG P25-29	OK
30/11/16	12:08:01	W.	M5M5	KKS 155	დენი დაზიანება 2-ში დაზიანება (BP102) <0,5	OK
30/11/16	12:08:09	W.	M5M5	KKS 68	ტემპერატურის სიგნალი TUG P25-29	OK
30/11/16	12:08:10	W.	M5M5	KKS 68	ტემპერატურის სიგნალი TUG P25-29	OK
30/11/16	12:08:10	W.	M5M5	KKS 68	ტემპერატურის სიგნალი TUG P25-29	OK
30/11/16	12:08:11	W.	M5M5	KKS 68	ტემპერატურის სიგნალი TUG P25-29	OK
30/11/16	12:08:13	W.	M5M5	KKS 68	ტემპერატურის სიგნალი TUG P25-29	OK

Ready

OS
 AL
 M1
 M2
 M3
 M4
 M5

Pending: 49 To acknowledge: 0 Hidden: 0 List: 1000

ცხრილი 5.5. შეტყობინების ტექსტი

VSHyCon

471 Mw 134 Mvar

0,00 Hz

მიმღები: 11/30/2016 12:49:35

გ-3

გ-1

გ-2

გ-4

გ-5

შეტყობინების ტექსტი

მატილი	დრო	კლასი	კატეგორია	კოდის ნომერი	ტექსტი	კომპი
738	30/11/16 12:06:02	W	M2M2	kks219	შენიშვნა: უკარბაბუ Siprotec F11/F21	44
739	30/11/16 12:06:02	W	M2M2	kks184	გადატვირთვის სიგნალი Siprotec F11/F21	44
740	30/11/16 12:06:02	W	M2M2	kks213	პერნორირების უკარბაბუ Siprotec F11/F21	44
741	30/11/16 12:06:03	W	M2M2	kks25	უკარბაბუ შეზღუდვები	44
742	30/11/16 12:06:03	W	M2M2	kks184	გადატვირთვის სიგნალი Siprotec F11/F21	44
743	30/11/16 12:06:03	W	M2M2	kks25	უკარბაბუ შეზღუდვები	44
744	30/11/16 12:06:07	W	M3M3	KKS 219	შენიშვნა: უკარბაბუ Siprotec F11/F21	44
745	30/11/16 12:06:07	W	M3M3	kks184	გადატვირთვის სიგნალი Siprotec F11/F21	44
746	30/11/16 12:06:07	W	M3M3	KKS 213	შენიშვნა: უკარბაბუ Siprotec F11/F21	44
747	30/11/16 12:06:08	W	M3M3	kks184	გადატვირთვის სიგნალი Siprotec F11/F21	44
748	30/11/16 12:06:30	W	M1M1	kks213	უკარბაბუ განვრცობილი სიგნალი	44
749	30/11/16 12:06:30	W	M1M1	kks213	უკარბაბუ განვრცობილი სიგნალი	44
750	30/11/16 12:06:36	W	M5M5	KKS 211	შენიშვნა: დიფერენციალური სიგნალი	44
751	30/11/16 12:06:36	W	M5M5	KKS 220	საღრმის დიფერენციალური სიგნალი	44
752	30/11/16 12:06:36	W	M5M5	KKS 185	შენიშვნა: დაუბალანსებელი ტვირთი Siprotec F11/F21	44
753	30/11/16 12:06:36	A	M5M5	KKS 201	შენიშვნა: დიფერენციალური სიგნალი	44
754	30/11/16 12:06:36	A	M5M5	KKS 180	შენიშვნა: დიფერენციალური სიგნალი	44
755	30/11/16 12:06:36	W	M5M5	KKS 219	უკარბაბუ განვრცობილი სიგნალი	44
756	30/11/16 12:06:36	W	M5M5	KKS 222	საღრმის დიფერენციალური სიგნალი	44
757	30/11/16 12:06:36	W	M5M5	KKS 215	გადატვირთვის სიგნალი Siprotec F11/F21	44
758	30/11/16 12:06:36	A	M5M5	KKS 42	შენიშვნა: კონტროლი და დიფერენციალური სიგნალი	44
759	30/11/16 12:06:36	W	M5M5	KKS 185	შენიშვნა: დაუბალანსებელი ტვირთი Siprotec F11/F21	44

Ready

ფუნქციონირების ანგარიშები: OS AL M1 M2 M3 M4 M5

Pending: 49 To acknowledge: 0 Hidden 0 List: 1000

ცხრილი 5.6. შეტყობინების ტექსტი

VSHyCon

471 Mw 133 Mvar
 0,00 Hz

მთავარი
 გ-3

გ-1
 გ-4

A W. O
 A W. O

A W. O
 A W. O

გ-2
 გ-5

11/30/2016 12:52:29
 vshk

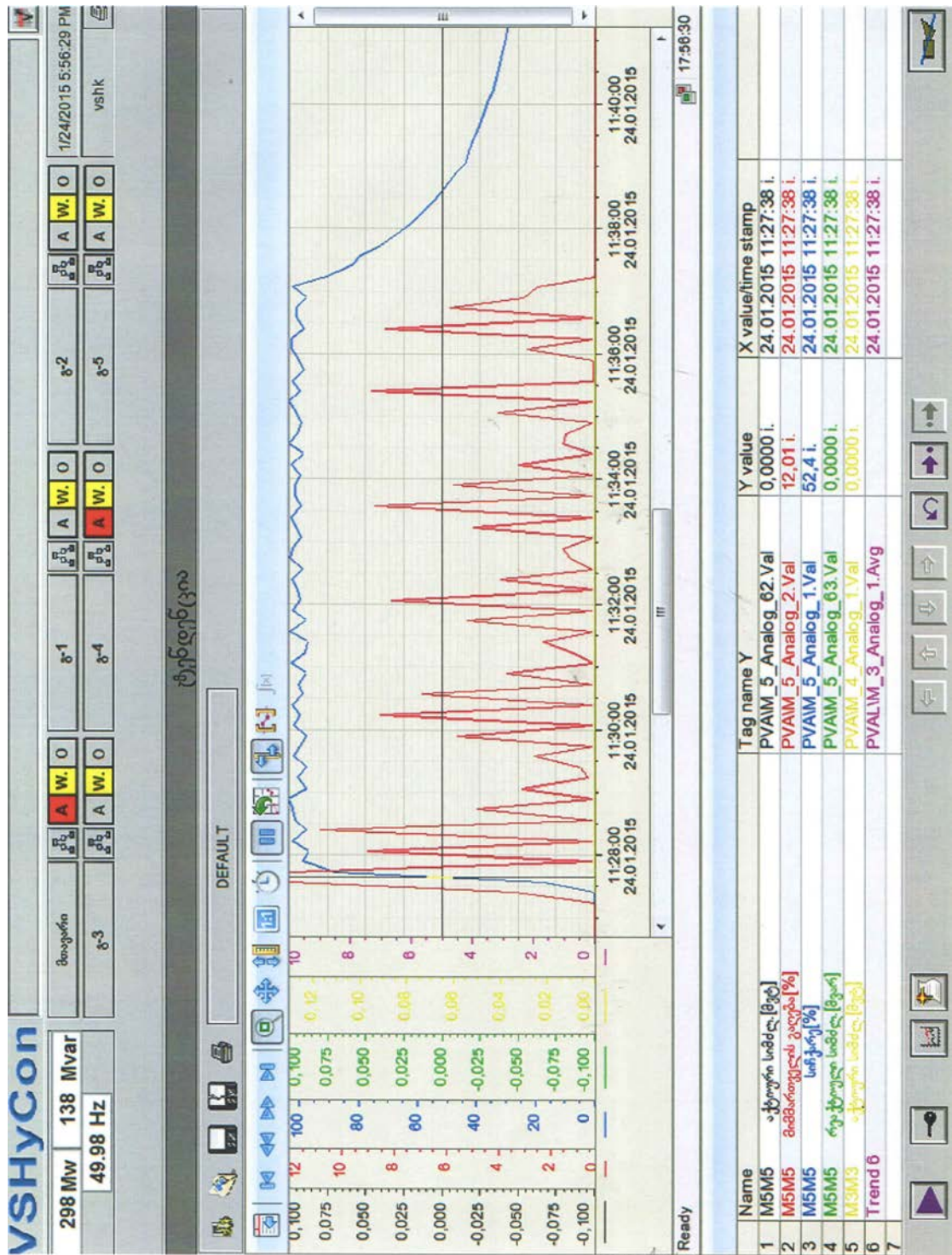
ქართული ნუსხა

საბიჯი	დრო	კლასი	კატეგორია	კოდის ნომერი	შეტყობინების ტექსტი	სტატუსი
134	30/11/16 12:08:29	W.	M5M5	KKS 153	დ წმკა წვე დაბალა ტუმბო 1 (BP101) <6,5	✓
135	30/11/16 12:08:31	W.	M5M5	KKS 68	ტემპერატურის სიგნალი TUG P25-29	✓
136	30/11/16 12:08:31	W.	M5M5	KKS 155	დ წმკა წვე ტუმბო 2-ში დაბალა (BP102) <6,5	✓
137	30/11/16 12:08:31	W.	M5M5	KKS 153	დ წმკა წვე დაბალა ტუმბო 1 (BP101) <6,5	✓
138	30/11/16 12:08:32	W.	M5M5	KKS 30	ზედა საჭარის ვიზიტაციის გამაფრთხილებელი სიგნალი	✓
139	30/11/16 12:08:38	W.	M5M5	KKS 68	ტემპერატურის სიგნალი TUG P25-29	✓
140	30/11/16 12:08:39	W.	M5M5	KKS 68	ტემპერატურის სიგნალი TUG P25-29	✓
141	30/11/16 12:08:51	W.	M5M5	KKS 68	ტემპერატურის სიგნალი TUG P25-29	✓
142	30/11/16 12:08:52	W.	M5M5	KKS 68	ტემპერატურის სიგნალი TUG P25-29	✓
143	30/11/16 12:08:52	W.	M5M5	KKS 68	ტემპერატურის სიგნალი TUG P25-29	✓
144	30/11/16 12:08:53	W.	M5M5	KKS 68	ტემპერატურის სიგნალი TUG P25-29	✓
145	30/11/16 12:08:54	W.	M5M5	KKS 68	ტემპერატურის სიგნალი TUG P25-29	✓
146	30/11/16 12:08:54	W.	M5M5	KKS 68	ტემპერატურის სიგნალი TUG P25-29	✓
147	30/11/16 12:08:54	W.	M5M5	KKS 68	ტემპერატურის სიგნალი TUG P25-29	✓
148	30/11/16 12:08:57	W.	M5M5	KKS 155	დ წმკა წვე ტუმბო 2-ში დაბალა (BP102) <6,5	✓
149	30/11/16 12:09:01	W.	M5M5	KKS 68	ტემპერატურის სიგნალი TUG P25-29	✓
150	30/11/16 12:09:01	W.	M5M5	KKS 68	ტემპერატურის სიგნალი TUG P25-29	✓
151	30/11/16 12:09:01	W.	M5M5	KKS 155	დ წმკა წვე ტუმბო 2-ში დაბალა (BP 102) <6,5	✓
152	30/11/16 12:09:02	W.	M5M5	KKS 68	ტემპერატურის სიგნალი TUG P25-29	✓
153	30/11/16 12:09:04	W.	M5M5	KKS 68	ტემპერატურის სიგნალი TUG P25-29	✓
154	30/11/16 12:09:04	W.	M5M5	KKS 68	ტემპერატურის სიგნალი TUG P25-29	✓
155	30/11/16 12:09:07	W.	M5M5	KKS 68	ტემპერატურის სიგნალი TUG P25-29	✓

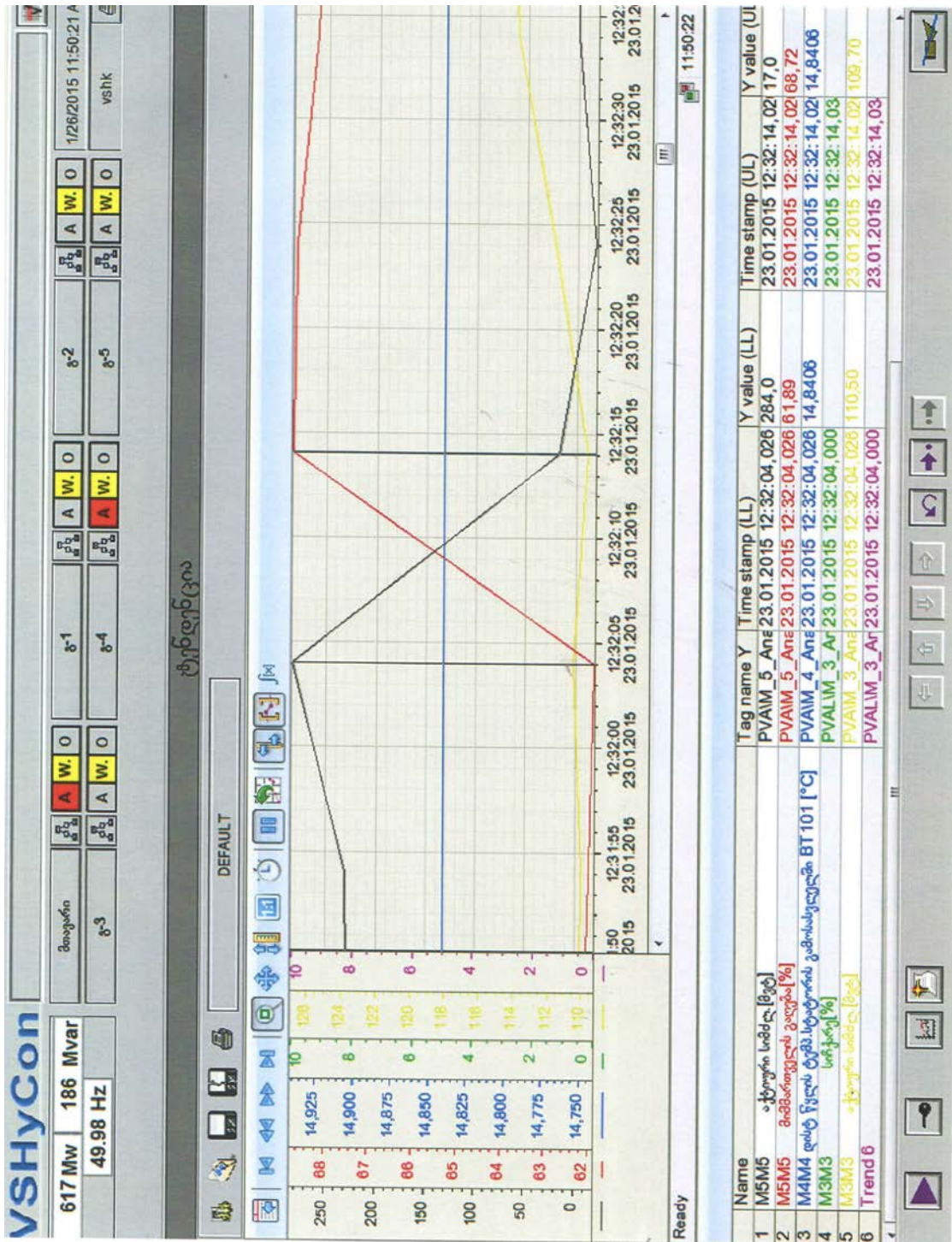
Ready

ფულდის არჩევა

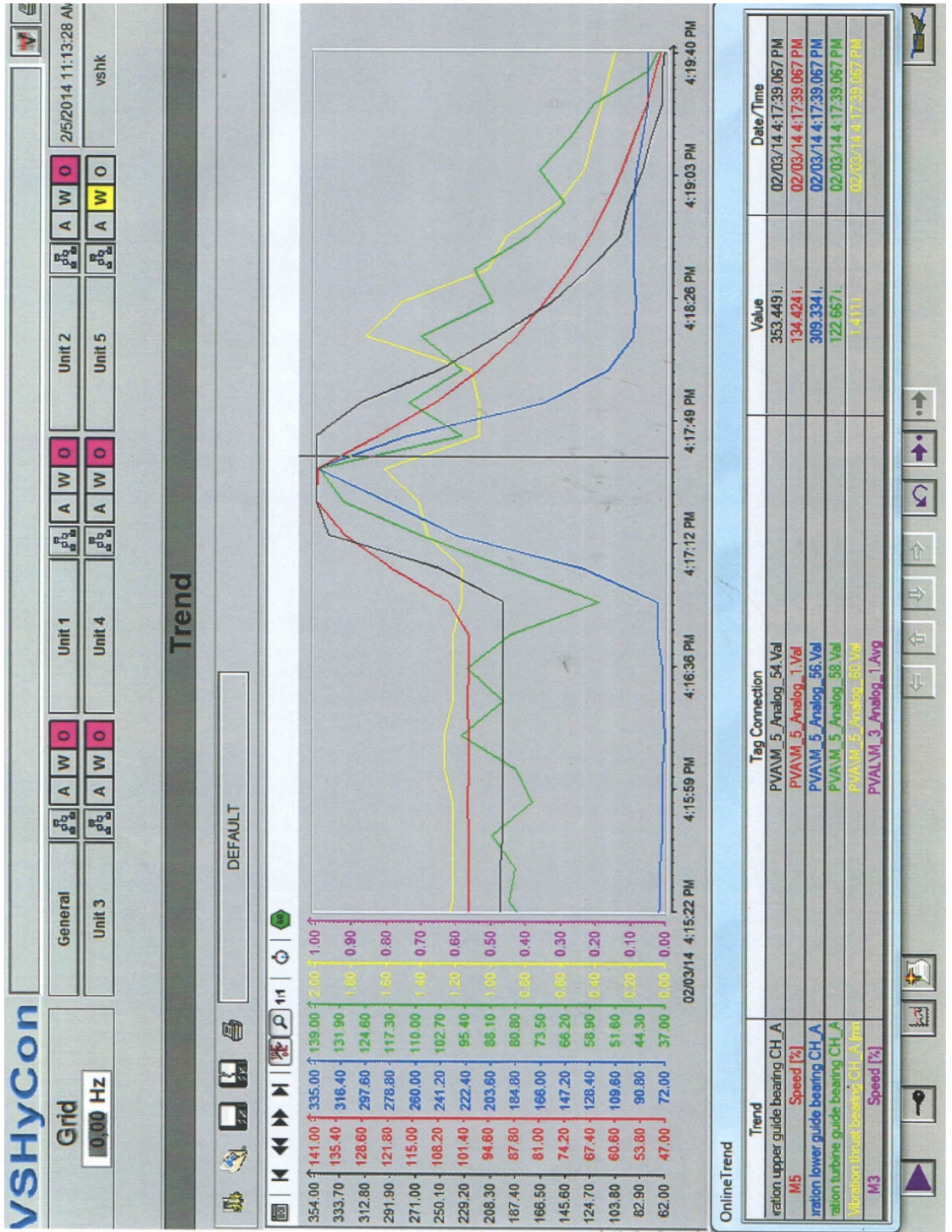
Pending: 49 To acknowledge: 0 Hidden 0 List: 1000



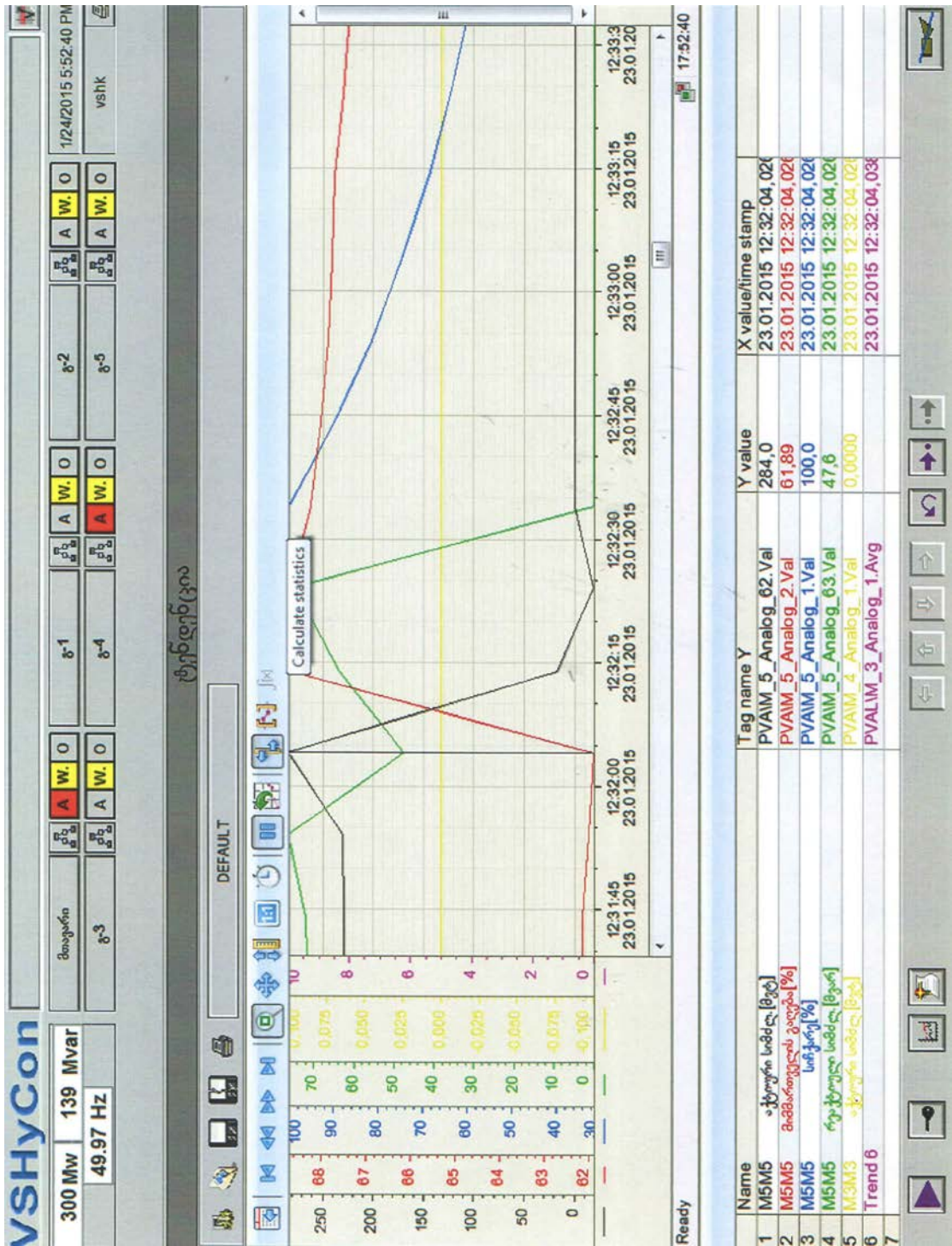
ნახ.5.5. ჰიდროგენატორის რეჟიმების ელექტრომაგნიტური პარამეტრების ცვლილების ოსცილოგრამები დროში



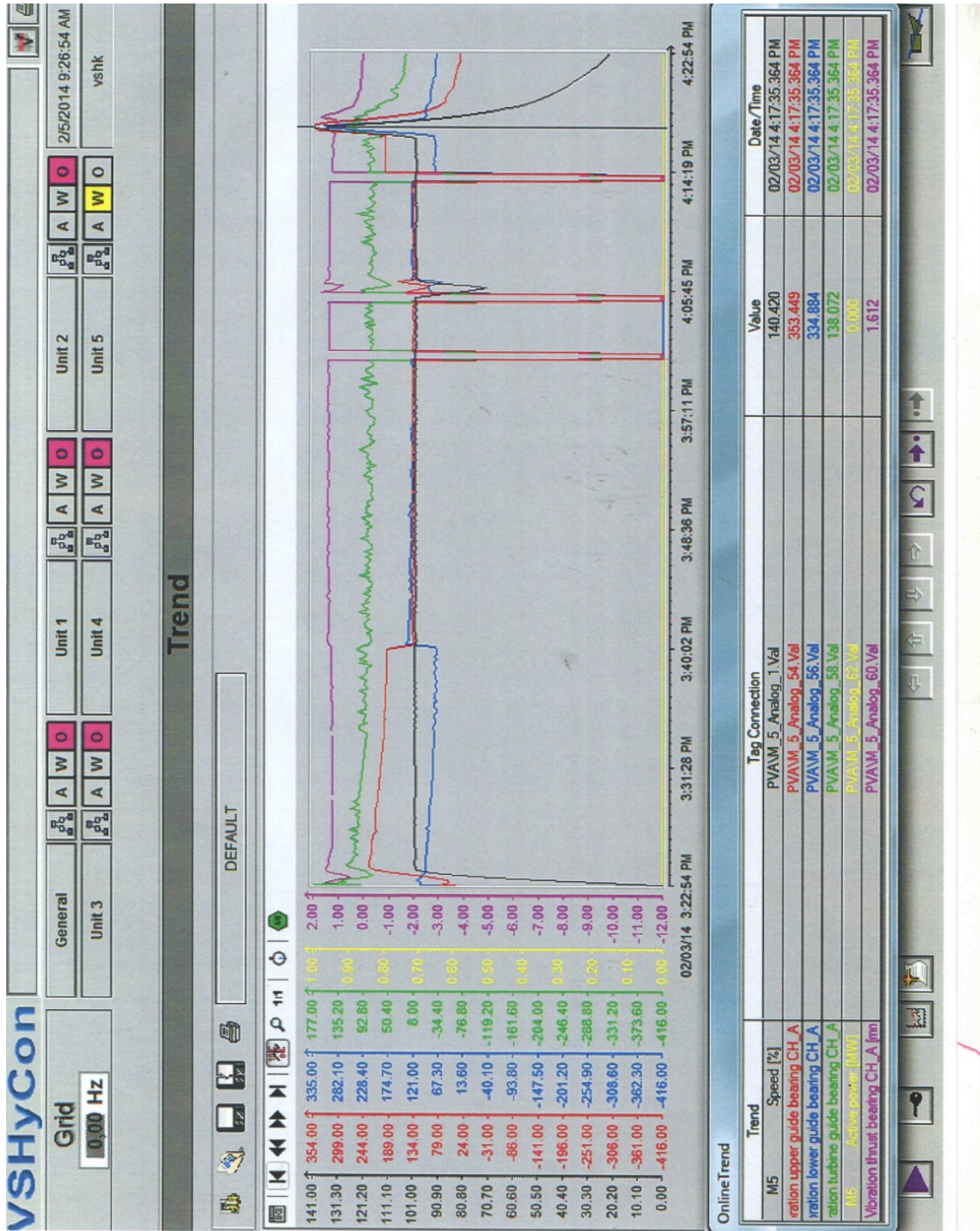
ნახ.5.6. ჰიდროგენერატორის რეჟიმების ელექტრომაგნიტური პარამეტრების ცვლილების ოსცილოგრამები ღროში



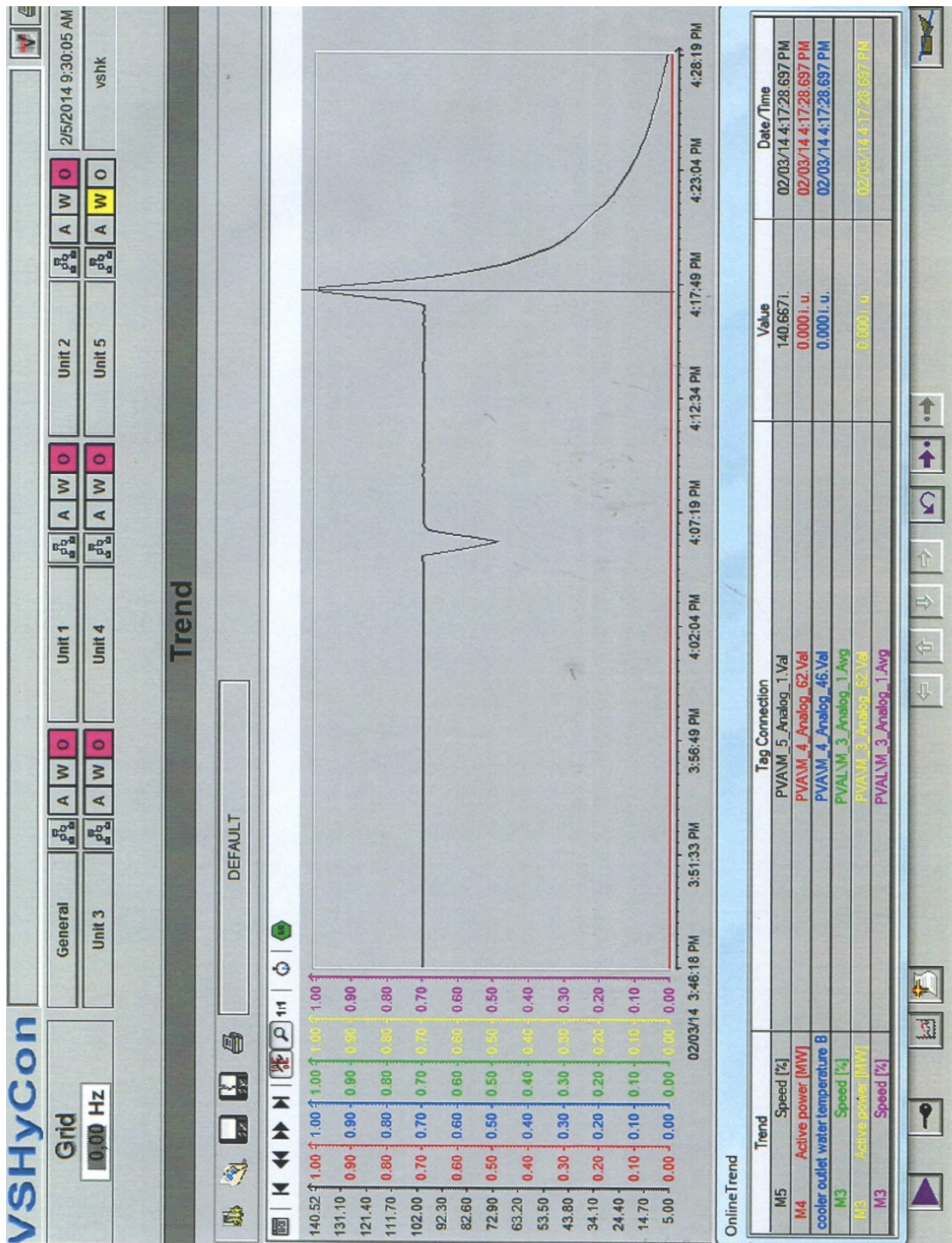
ნახ.5.7. ჰიდროგენატორის რეჟიმების ელექტრომაგნიტური პარამეტრების ცვლილების ოსცილოგრამები დროში



ნახ.5.8. ჰიდროგენერატორის რეჟიმების ელექტრომაგნიტური პარამეტრების ცვლილების ოსცილოგრამები დროში



ნახ.5.9. ჰიდროგენატორის რეჟიმების ელექტრომაგნიტური პარამეტრების ცვლილების ოსცილოგრამები დროში

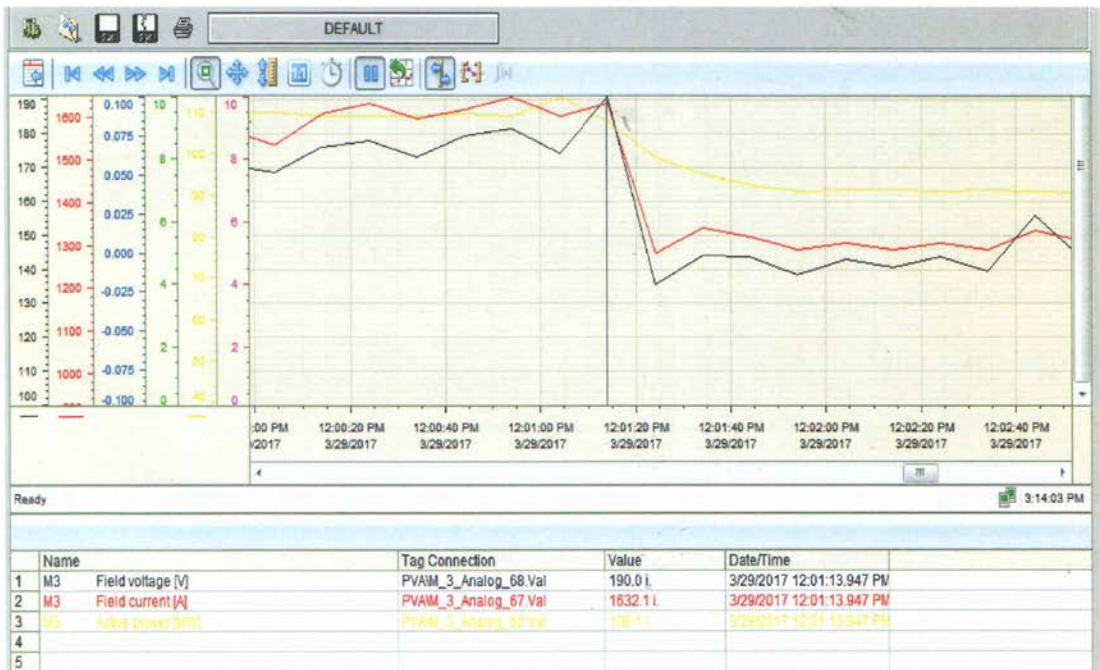


ნახ.5.10. ჰიდროგენერატორის რეჟიმის ელექტრომაგნიტური პარამეტრების ცვლილების ოსცილოგრამები დროში

	Date	Time	Class	Group	Code number	Message text	State
864	29/03/17	11:56:00	W	M5	KKS 26	Excitation Overexcitation limit	
865	29/03/17	11:56:00	W	M5	KKS 62	Excitation generator overvoltage limiter is active	
866	29/03/17	11:56:09	W	M5	KKS 26	Excitation Overexcitation limit	
867	29/03/17	11:56:09	W	M5	KKS 62	Excitation generator overvoltage limiter is active	
868	29/03/17	11:56:14	W	M5	KKS 26	Excitation Overexcitation limit	
869	29/03/17	11:56:14	W	M5	KKS 62	Excitation generator overvoltage limiter is active	
870	29/03/17	11:56:14	W	M5	KKS 62	Excitation generator overvoltage limiter is active	
871	29/03/17	11:56:14	W	M5	KKS 62	Excitation generator overvoltage limiter is active	
872	29/03/17	11:56:14	W	M5	KKS 26	Excitation Overexcitation limit	
873	29/03/17	11:56:14	W	M5	KKS 62	Excitation generator overvoltage limiter is active	
874	29/03/17	11:56:19	W	M5	KKS 26	Excitation Overexcitation limit	
875	29/03/17	11:56:19	W	M5	KKS 26	Excitation Overexcitation limit	
876	29/03/17	11:56:19	W	M5	KKS 62	Excitation generator overvoltage limiter is active	
877	29/03/17	11:56:19	W	M5	KKS 62	Excitation generator overvoltage limiter is active	
878	29/03/17	11:57:05	W	M3	KKS 26	Excitation Overexcitation Limit	
879	29/03/17	11:57:05	W	M3	KKS 62	Excitation generator overvoltage limiter is active	
880	29/03/17	11:57:09	W	M3	KKS 26	Excitation Overexcitation Limit	
881	29/03/17	11:57:09	W	M3	KKS 62	Excitation generator overvoltage limiter is active	
882	29/03/17	11:57:11	W	M3	KKS 26	Excitation Overexcitation Limit	
883	29/03/17	11:57:11	W	M3	KKS 62	Excitation generator overvoltage limiter is active	
884	29/03/17	11:57:11	W	M3	KKS 62	Excitation generator overvoltage limiter is active	
885	29/03/17	11:57:11	W	M3	KKS 62	Excitation generator overvoltage limiter is active	
886	29/03/17	11:57:12	W	M3	KKS 26	Excitation Overexcitation Limit	
887	29/03/17	11:57:12	W	M3	KKS 62	Excitation generator overvoltage limiter is active	
888	29/03/17	11:57:13	W	M3	KKS 26	Excitation Overexcitation Limit	
889	29/03/17	11:57:13	W	M3	KKS 26	Excitation Overexcitation Limit	
890	29/03/17	11:57:14	W	M3	KKS 62	Excitation generator overvoltage limiter is active	

Ready Pending: 65 To acknowledge: 0 Hidden 0 List: 1000

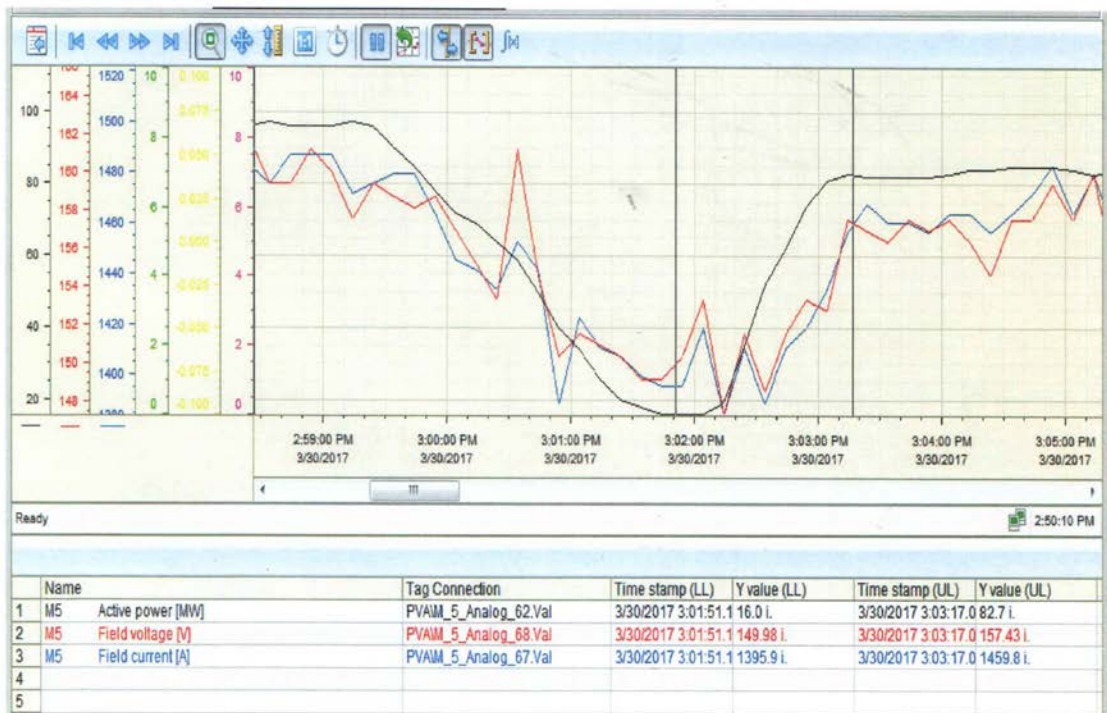
Filter selection OS AL M1 M2 M3 M4 M5



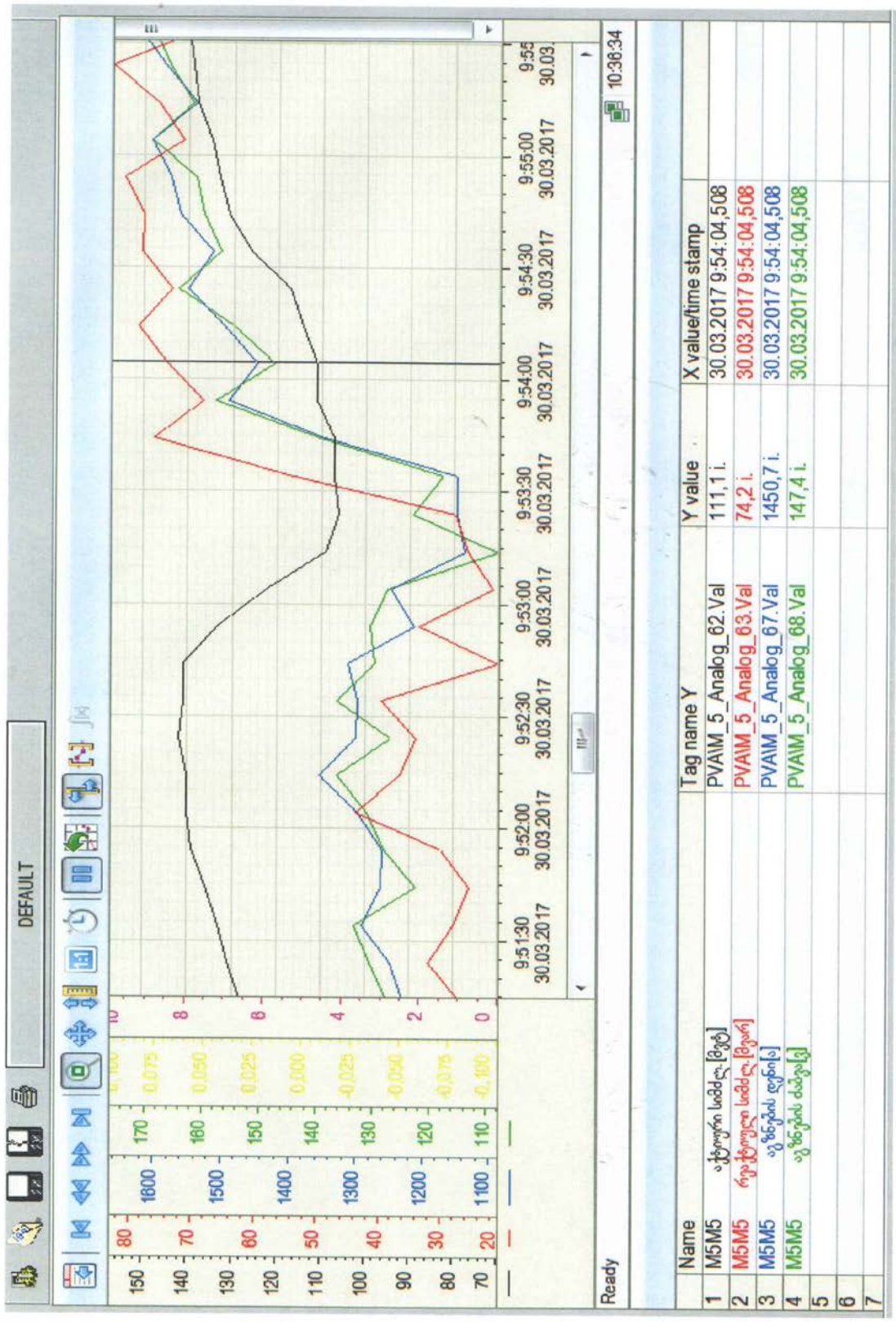
ნახ.5.11. ჰიდროგენერატორის რეჟიმების ელექტრომაგნიტური პარამეტრების ცვლილების ოსცილოგრამები დროში

986	30/03/17	12:40:28	W	M2	KKS 36	Fault DP-BUS Warning	✓
987	30/03/17	12:40:29	W	M2	KKS 60	Excitation U/I limiter is active (Overfluxing)	✓
988	30/03/17	12:40:32	W	M2	KKS 60	Excitation U/I limiter is active (Overfluxing)	✓
989	30/03/17	14:17:32	W	M3	KKS 111	Governor Oil Tank Level Low	✓
990	30/03/17	14:17:41	W	M2	KKS 111	Governor Oil Tank Level Low	✓
991	30/03/17	14:32:35	W	M2	KKS 111	Governor Oil Tank Level Low	✓
992	30/03/17	14:55:05	W	M3	KKS 60	Excitation U/I limiter is active (Overfluxing)	✓
993	30/03/17	14:55:11	W	M3	KKS 60	Excitation U/I limiter is active (Overfluxing)	✓
994	30/03/17	14:55:18	W	M3	KKS 60	Excitation U/I limiter is active (Overfluxing)	✓
995	30/03/17	15:06:58	W	M4	KKS 185	Generator unbalanced load Siprotec F11/F21	✓
996	30/03/17	15:06:58	W	M4	KKS 185	Generator unbalanced load Siprotec F11/F21	✓
997	30/03/17	15:07:09	W	M4	KKS 185	Generator unbalanced load Siprotec F11/F21	✓
998	30/03/17	15:09:54	W	M5	KKS 185	Generator unbalanced load Siprotec F11/F21	✓
999	30/03/17	15:09:54	W	M5	KKS 185	Generator unbalanced load Siprotec F11/F21	✓
1000	30/03/17	15:10:04	W	M5	KKS 185	Generator unbalanced load Siprotec F11/F21	✓
1001							

Ready Pending: 65 To acknowledge: 0 Hidden 0 List: 1000



ნახ.5.12. ჰიდროგენერატორის რეჟიმების ელექტრომაგნიტური პარამეტრების ცვლილების ოსცილოგრამები დროში



ნახ.5.13. ჰიდროგენატორის რეჟიმების ელექტრომაგნიტური პარამეტრების ცვლილების ოსცილოგრამები დროში

დასკვნები

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 ვენტლით 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, ხარისხიანად 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. გამოკვლეულია ელექტრომაგნიტური პროცესები ტირისტორული აგზნების სისტემაში სამფაზა ბოგირული სქემის, ნულოვანი ვენტილების გამოყენებით და დადგენილია, რომ ნულოვანი ვენტილების გამოყენება ახდენს მთელი რიგი უწყესროვობათა აცილებას, ხარისხოვნად აუმჯობესებს ტირისტორული აგზნების სისტემის ბოგირულ სქემას. ნულოვანი ვენტილების გამოყენება:

- ამცირებს გარდამქმნელის გარე მახასიათებლის დახრას;
- ზრდის რეგულირების კუთხის დიაპაზონს 150⁰-მდე, იძლევა შესაძლებლობას იმუშაოს ღრმა რეგულირების კუთხით და შესაბამისად;
- იძლევა კარგ მახვენებელს ვენტილების არასრული რიცხვით მუშაობის დროს, აუმჯობესებს სიმძლავრის კოეფიციენტს;
- ამცირებს ალბათობას ვენტილების უკუ ჩართვისა და გარღვევის; სქემა წარმოადგენს მარტივს და საიმედოს, შეიძლება გამოყენებული იქნეს სინქრონული ჰიდროგენერატორებისთვის ვენტილების მეორე ჯგუფის გარეშე.

9. განხილულია ელექტრომაგნიტური პროცესები თვითაგზნების ტირისტორული სისტემაში ნულოვანი ვენტილებით და ექვსფაზა სქემით სამფაზა გამათანაბრებელი რეაქტორით. ნაჩვენებია, რომ მართვადი ვენტილური სისტემა ნულოვანი ვენტილებით ხასიათდება მუშაობის რეჟიმების დიდი სხვადასხვაობით, რომლებიც განსხვავდებიან ერთმანეთისაგან, როგორც რიცხობრივად, ისე ერთდროულად გამტარი ვენტილების შემადგენლობით. აგზნების სისტემის გარე მახასიათებელი გამოირჩევა მინიმალური დახრით და დიდი მდგრადობით.

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

გამოყენებული ლიტერატურა

1. Глебов И.А. Развитие систем возбуждения и регулирования турбо и гидрогенераторов / И.А. Глебов // Известия РАН. Энергетика. 1996. - №4. – с. 47-63.
2. Симкина, С. Новые решения найдут дорогу на рынок /С. Симкина// Силовые машины. 2007-№12(108).
3. Симкина, С. На системы возбуждения большой спрос/ С.Симкина// Силовые машины. 2009.-№4(172).
4. Логинов, А.Г. Системы возбуждения турбо-и гидрогенераторов ОАО «Электросила»/А.Г. Логинов// Электротехника. 2003. -№5. – с. 43-48.
5. Сняпольский, В.А. Системы возбуждения производства ООО «СКБ ЭЦМ»/ В.А. Синепольский, А.С. Шелепов //Электрические станции. – 2006. №7. –с. 60-62.
6. Шевченко, В.М. Опыт внедрения тиристорных систем возбуждения нового поколения/В.М. Шевченко, Н.А. Ваккер// электрические станции. – 2006.-№12.с.47-55.
7. Лапиков, Ю.Б. Новое поколение систем возбуждения синхронных машин/Ю.Б. Лапиков//Энергетик. 2008.-№2-с.48.
8. Уланов, С.А. Техническое перевооружение систем возбуждения Ростовской ТЭЦ-2/С.А. Улянов, И.В. Бабков// электрические станции. 2009.-№1.-с. 61-63.
9. IEC60034-16-1(2011). Rotating Electrical Machines. Part 16-1: Excitation Systems for Synchronous Machines Definitions/ IEC: 2011. – 26 p.
10. IEC/TR 60034-16-2(2011). Rotating Electrical Machines. Part 16: Excitation Systems for Synchronous Machines. Chapter2: Models for Power System studies. - IEC: 199. – 70 p.
11. IEC/TR2 60034-16-3(1996). Rotating Electrical Machines. Part 16: Excitation Systems for Synchronous Machines. Section 3: Dynamic Performance. IEC: 1996. – 36 p.
12. Гост 215-58.2000. Системы возбуждения турбогенераторов, гидрогенераторов и синхронных комплекторов. Общие технические условия. М.: Изд-во стандартов, 2003. – 16 с.

13. Система тиристорного самовозбуждения гидро-и турбогенераторов /А.С. Востраков, С.А. Харитонов, Ю.Н. Золотухин и др. //электротехника. – 2000. -№11, -с.6-11.
14. Логинов, А.Г. Микропроцессорный автоматический регулятор типа АРВ-М для систем возбуждения АО «Электросила» /А.Г. Логинов, А.В. Фадеев//Электротехника 2001. -№9.-с.66-70.
15. Новое оборудование для систем возбуждения и опыт его эксплуатации /В.К. Воробей, С.Л. Иванов, В.В. Кичаев и др.//Электрические станции. 2002. - №11.-с.51-57.
16. Логинов, А.Г. Микропроцессорный автоматический регулятор типа AVR-2М для систем возбуждения завода «Электросила» /А.Г. Логинов.
17. А.В. Фадеев//Электротехника. 2006-№9.-с.54-57.
18. Ваккер, Н.А. Реконструкция тиристорных систем возбуждения типа СТС с частичной заменой оборудования/Н.А. Ваккер, А.В. Тонышев.
19. В.М. Шевченко//Энергетик. 2009.-№3.-с.23-24.
20. Кощев, Л.А. Автоматическое противоаварийное управление в электроэнергетических системах /Л.А. Кощев. Л.: Энергоатомиздат, 1990.-140 с.
21. Глебов, И.А. Электромагнитные процессы систем возбуждения синхронных машин/И.А. Глебов. Л.: Наука, 1987.-344 с.
22. Глебов, И.А. Работа ионного самовозбуждения синхронного генератора при несимметричных повреждениях /И.А. Глебов//сб. работ по вопросам электромеханики. 1960.-вып.3.-с.3-14.
23. Савченко, Е.В. Исследование и повышение надежности работы турбогенераторов с самовозбуждением: автореферат дис.канд.техн.наук./Е.В. Савченко. Л.: ВНИИ электромаш, 1970.-16 с.
24. Вейганд, В.Я. Характеристики трех фазного мостового преобразователя при несимметричных условиях работы/В.Я. Вейгандт// Известия АН СССР. Серия «Энергетика и транспорт». 1984.-№5.-с.42-52.
25. Пооссе, А.В. Схемы и режимы электропередач постоянного тока /А.В. Поссе. Л.:Энергия, 1973.-302 с.

26. Замкнутые системы преобразования электрической энергии. В.А. Жуйков, И.Е. Коротеев, В.М. Рябенский и др.; под ред. В.Я. Жуйкова. К.: Техника; Братислава: Альфа, 1989.-320 с.
27. Зиновьев, Г.С. Основы силовой электроники: учеб. пособие/Г.С. Зиновьев. 3-е изд. испр. и доп.-Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2004.-672 с.
28. Хохлов, Ю.И. Компенсированные выпрямители с фильтрацией в коммутирующие конденсаторы нечетнократных гармоник токов преобразовательных блоков/Ю.И. Хохлов. Челябинск: Изд-во ЧГТУ, 1995.-355 с.
29. Глебов. И.А. Системы возбуждения синхронных генераторов с управляемыми преобразователями/И.А. Глебов. М.; Л.: Изд-во АН СССР, 1960.-336 с.
30. Глебов. И.А. Системы возбуждения мощных синхронных машин/И.А. Глебов, - Л.: Наука, 1979.-315 с.
31. Завалишин, Д.А. Внезапные КЗ турбогенератора с самовозбуждением от ионного преобразователя /Д.А. Завалишин, И.А. Глебов//Электросила. - 1951.-№8.
32. Глебов И.А. Научные основы проектирования систем возбуждения мощных синхронных машин. – Л.: Наука. Ленинград. 1988. 332 с.
33. Орурк И.А. Расчет сложных линейных и нелинейных динамических систем применением интегральных уравнений. Тр. Военно-морской академии кораблестроения и вооружения им. А.Н. Крымова. 1956. Вып.12. с.39-55.
34. Виноградов А.А. Вопросы расчета установившегося и переходного режимов синхронного генератора с ионным самовозбуждением: Автореф. дис. ... канд. тех. наук. М.: МЭИ, 1958. 20 с.
35. Фишлер Я.Л., Урманов Р.Н. Преобразовательные трансформаторы. М.: Энергия, 1974. 224 с.
36. Фишлер Я.Л., Ланге В.В. Последовательные вольтодобавочные трансформаторы статических возбудителей синхронных машин//Электричество. 1969, №10. с. 43-48.
37. Ульянов С.А. Короткие замыкания в электрических системах. М.:Л.: Госэнергоиздат, 1949. 319 с.
38. Жданов П.С. Устойчивость электрических систем М.:Л.: Госэнергоиздат, 1948. 399 с.

39. Долбня В.Т. Несимметричное сетечное управление ионными выпрямителями //Электричество. 1959, №4. с.43-48.
40. Uhlmann E. Verbesserung des Leistungsfaktors von gittergesteuerten Mehrphasengleichrichtern//E.U.M. 1937. Н.26.S.309-313; Н.27.S.323-326.
41. Лутидзе Ш.И., Михневич Г.В., Тафт В.А. Введение в динамику синхронных машин и машинно-полупроводниковых систем. М.: Наука. 1973. 338 с.
42. Ботвиник М.М. Асинхронизированная синхронная машина. М.-М., Госэнергоиздат, 1960.
43. Джентри Ф., Гутцвиллер Ф., Гологьяк Н., Застров Э. фон. Управляемые полупроводниковые вентили. М.: Мир, 1967. 455 с.
44. Herzog H., Deak J. Schutz von statischen Erregungseinrichtungen und Rotovicklungen von Synchronmaschinen gegen Überspannungen//BBM. 1982.Н.6.s. 207-211.
45. Башнин О.И., Бувевич В.В., Каштелян В.Е. и др. Пикропроцессоры в энергетике. Л.: Наука. Ленингр. от-ние, 1982. 190 с.
46. Башнин О.И., Семенов В.В., Степура Э.Ф. Аппаратура группового регулирования активной мощности и частоты агрегатов гидроэлектростанций. Электротехника. 1979. №4. с.12-14.
47. А.с. 660184 СССР. Устройство для автоматического регулирования возбуждения синхронной машины / О.И. Башнин, Н.С. Сырый// Б.И. 1979. №16.
48. Автоматическое регулирование и управление в энергосистемах, Под ред. В.Д. Ковалева. М.: Энергоатомиздат, 1983. 94 с.
49. Горский Ю.М., Ушаков В.А., Смирнов С.С. и др. Цифровой регулятор возбуждения и скорости синхронных машин // Электричество, 1981. №1. с.8-13.
50. Бувевич В.В., Глебов И.А., Каштелян В.Е. и др. Перспективы применения микропроцессорной техники для управления электроэнергетическими агрегатами //Изв. АН СССР. Энергетика и трансп. 1981. №6. С.13-21.
51. Бувевич В.В., Каштелян В.Е., Кичев В.В., Юргянов А.А. Цифровое регулирование возбуждения мощных турбо и гидрогенераторов// Системы возбуждения и регулирования мощных синхронных генераторов. Л.: Наука. Ленингр. от-ние, 1986. с.134.
52. კობრიძე თ., მეზონია ლ/ რეგულირებადი ჰიდროგენერატორში გარდამავალი ელექტრომაგნიტური პროცესები. ენერგია. 2016. №4(80), გვ. 49-54.

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

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

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