

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

ხელნაწერის უფლებით

ალექსანდრე პეტროსიანი

რეაქტიული სიმძლავრის საკომპენსაციო დანადგარების
მდოვრე რეგულირების მართვის სისტემის დამუშავება

დოქტორის აკადემიური ხარისხის მოსაპოვებლად
წარდგენილი დისერტაციის

ავტორეფერატი

თბილისი

2014 წელი

სამუშაო შესრულებულია საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის
ენერგეტიკისა და ტელეკომუნიკაციის ფაკულტეტის
ელექტრომომხმარებლის ტექნოლოგიების დეპარტამენტში

სამეცნიერო ხელმძღვანელი: ბადურ ჭუნაშვილი

რეცენზენტები: ტ.მ.დ., პროფესორი ნ. ბერიძე
ტ.მ.დ., პროფესორი ი. ბიჯამოვი

დაცვა შედგება 2014 წლის 28 ივნისს, 11.00 საათზე
საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის
ენერგეტიკისა და ტელეკომუნიკაციის ფაკულტეტის
სადისერტაციო საბჭოს კოლეგიის სხდომაზე,
კორპუსი VIII, აუდიტორია №718
მისამართი: 0175, თბილისი, კოსტავას 77
დისერტაციის გაცნობა შეიძლება სტუ-ს ბიბლიოთეკაში,
ხოლო ავტორეფერატისა – სტუ-ს ვებგვერდზე

სადისერტაციო საბჭოს მდივანი -----

Abstract

In terms of global energy crisis, the one of the most important task is to increase energy efficiency of power supply system. Energy efficiency depends on indicators of network and consumers. That is a reason, why is very important to minimize loses of capacity and electricity in power supply system and electrical technological machines. Consequently one of the main requirement by power supply system to electricity consumers is to increase energy indicators specially rising reactive capacity coefficient for unloading power supply system with reactive capacity transmission and minimizing or exclusion loses of voltage, capacity and consequently active and reactive energies caused by above mentioned reason.

There is no any requirement of limit reactive capacity or increase reactive capacity coefficient in our country. Even more, in some cases there is no reactive energy metering, while many of European countries' tariff policy is mainly based on reactive power coefficient.

Therefore, for electrical technological machines and the complexes requirements by the electric power system, one of the main request is limitation of reactive capacity. This requirement is particularly acute in large and medium capacity power consumers, since they are significantly worsening energy indicators of the network.

Every electrical technological machines based on the principle of alternating current's electro-magnetic action for creation magnetic field request both of active and reactive capacity from power supply network. The ratio of active and reactive capacity depends on principle of action, mode of operation, utilization coefficient of the installed capacity and the load diagram of electrical technological machines. For example, for asynchronous engines with short-cut circuit rotor, in terms of nominal loading conditions the ratio of active and reactive capacity is 65-75%, while for the power transformers is 5-10%.

The most common electrical and technological installations and complex power factor within the average 0,8-0,85. Therefore, power regulation disadvantage of such a method is that the required reactive load vary in the large range causes not to compensate of existing capacity until the condenser block switching on and generated increased requested capacity than compensation. Therefore, it is recommended to use devices such compensation only consumers with invariable reactive load.

The quality of stepped regulated equipped compensation device is more effective than one-stepped one. Accordingly, to rise quality of the regulation is necessary to increase the number of battery of condenser. On the other hand, increasing the number of condenser battery is limited, because it will cause increasing number of the power part of the compensator - condenser battery blocks and their connection to the network and switching devices. In addition, system design and control system becomes complicated, increases the compensation device dimensions and price.

Compensation of reactive capacity requested by the electrical machinery and technological complexes and consequently complete discharging of the power supply network elements from transmission of the reactive capacity, can be implemented only by flowing regulation of the compensational capacity.

There is proposed principle of controlling of flowing regulation of static compensation device of reactive capacity. This principle is based on principles of regulation of capacity current by limiting block in not sectional condenser battery power circuit.

There is developed two versions of control system of flowing regulation of static compensation device of reactive capacity. In the first case, there is open system and based on only controlling of requested reactive capacity by consumer. The second option, the system is closed and controlled transmitted reactive capacity from the network.

There is created functional and structural schemes of control systems of flowing regulation compensatory device and also, their mathematical description is given.

We conducted an experimental study for both of the compensation device. The results proved that the proposed control system of compensation device has got a large range of produced reactive capacity (0-1), flowing regulation gives us ability of implementation of complete compensation of reactive capacity requested by electricity consumers; To unload power supply network from transmission of reactive capacity; Consequently reduce loses of the voltage, power and electricity; increase energy indicators and rise energy efficiency.

თემის აქტუალურობა.

ენერგოეფექტურობის ამაღლების ძირითადი რეზერვი ელექტროენერგიის მოხმარების ციკლშია. იგი აგრეთვე აამაღლებს მკვებავი ქსელის ენერგოეფექტურობას.

ცვლადი დენის ელექტრომაგნიტურ მოქმედების პრინციპზე დაფუძნებული ყველა ელექტროტექნოლოგიური დანადგარი და მოწყობილობა მაგნიტური ველის შესაქმნელად, მკვებავი ქსელიდან, აქტიურთან ერთად, მოითხოვს გარკვეული სიდიდის რეაქტიულ სიმძლავრეს, რომელიც ელექტრომომარაგების ქსელში გადინების შედეგად იწვევს ელექტროენერგიის დანაკარგების გაზრდას, ენერგეტიკული მაჩვენებლებისა და ენერგოეფექტურობის გაუარესებას.

აქედან გამომდინარე, ელექტრომომარაგების სისტემის მიერ, ელექტროტექნოლოგიური დანადგარებისა და კომპლექსების (ეტდკ) მიმართ წაყენებული მოთხოვნების ერთერთ ძირითადს, მოთხოვნილი რეაქტიული სიმძლავრის შეზღუდვა წარმოადგენს. ეს მოთხოვნა განსაკუთრებით მწვავედ დგას დიდი და საშუალო სიმძლავრის ეტდკ-ის მიმართ, რომელთაც მათი ტექნოლოგიური პროცესების მიერ განპირობებული მუშაობის რეჟიმების გამო, მაღალი მოთხოვნილი რეაქტიული სიმძლავრე და შესაბამისად, დაბალი ენერგეტიკული მაჩვენებლები გააჩნიათ.

საქართველოს დამოუკიდებლობის მიღების შემდეგ, ქვეყანაში არ არსებობს მოთხოვნა მოხმარებლების მიერ მოთხოვნილი რეაქტიული სიმძლავრის (სიმძლავრის კოეფიციენტის) შეზღუდვის-ლიმიტირების შესახებ. უფრო მეტიც, რიგ შემთხვევებში საერთოდ არ ხდება რეაქტიული ენერგიის აღრიცხვა. მაშინ როდესაც, ევროპის მრავალი ქვეყნის სატარიფო პოლიტიკა, ძირითადად, რეაქტიული სიმძლავრის კოეფიციენტის მნიშვნელობაზეა დაფუძნებული.

ყველაზე გავრცელებული ელექტროტექნოლოგიური დანადგარებისა და კომპლექსების სიმძლავრის კოეფიციენტი საშუალოდ 0,8-0,85 ფარგლებში იცვლება. მაშასადამე, რეაქტიული სიმძლავრის მიერ გამოწვეული ძაბვის, სიმძლავრისა და ენერგიის დანაკარგების შემცირების, თავისმხრივ, ენერგოეფექტურობის გაზრდისას ძირითად ფაქტორს ენერგეტიკული მაჩვენებლების გაზრდა, განსაკუთრებით კი რეაქტიული სიმძლავრის კოეფიციენტის ამაღლება წარმოადგენს, რათა განიტვირთოს ემსძალოვანი ელემენტები რეაქტიული სიმძლავრის გატარებისაგან და გამოირიცხოს, ან მინიმუმამდე შემცირდეს ამ მიზეზით გამოწვეული ძაბვის, სიმძლავრისა და შესაბამისად აქტიური და რეაქტიული ენერგიის დანაკარგები.

კვლევის მიზანი.

კვლევის მიზანს წარმოადგენს სტატიკურ კონდენსატორთა ბატარეებზე დაფუძნებული რეაქტიული სიმძლავრის საკომპენსაციო მოწყობილობის მდოვრე რეგულირების მართვის სისტემის დამუშავება, რომელიც ტევადური სიმძლავრის ადგილზე გამომუშავების ხარჯზე, უზრუნველყოფს ელექტრომომხმარებლების მიერ მოთხოვნილი ინდუქტიური სიმძლავრის კომპენსაციას და ელექტრომომარაგების ქსელის ელემენტების რეაქტიული სიმძლავრის გატარებისგან სრულ განტვირთვას, რაც შესაბამისად გამოიწვევს, სიმძლავრისა და ელექტროენერჯის დანაკარგების მინიმუმამდე შემცირებას, ენერგეტიკული მაჩვენებლების გაზრდასა და ენერგოეფექტურობის ამაღლებას.

კვლევის ძირითადი ამოცანები.

ნაშრომის ძირითადი მიზნის მისაღწევად დაისახა კვლევის შემდეგი ამოცანები:

- ჩატარებულ იქნას ელექტროტექნოლოგიური დანადგარებისა და კომპლექსების ძალოვან ელემენტებში მიმდინარე მუშაობის რეჟიმების შესწავლა და ანალიზის საფუძველზე დადგინდეს, საშუალოდ რა ფარგლებში იცვლება ელექტრომომხმარებელთა რეაქტიული სიმძლავრის კოეფიციენტის მნიშვნელობა და დაზუსტდეს ამ მიზეზით გამოწვეული შედეგები.

- საერთაშორისოდ აღიარებული მეცნიერების მიერ შემოთავაზებული რეაქტიული სიმძლავრის საკომპენსაციო დანადგარების მართვის მეთოდები და მოწინავე ფირმების მიერ წარმოებული მოწყობილობების და მართვის სისტემების გამოკვლევის საფუძველზე დადგინდეს ვერ უზრუნველყოფენ მოთხოვნილი რეაქტიული სიმძლავრის სრულ კომპენსაციას.

- რეაქტიული სიმძლავრის სტატიკური საკომპენსაციო მოწყობილობისათვის, როგორც დაბალი, აგრეთვე მაღალი ძაბვის ქსელებისათვის, მომხმარებლის მიერ მოთხოვნილი რეაქტიული სიმძლავრის კონტროლის საფუძველზე, დამუშავდეს მდოვრე რეგულირების მართვის სისტემა, რომელიც უზრუნველყოფს მოთხოვნილი ინდუქტიური სიმძლავრის (საჭიროების შემთხვევაში ძალურ ტრანსფორმატორებში დანაკარგების გათვალისწინებით) სრულ კომპენსაციას.

- შემოთავაზებული მართვის სისტემისათვის, დამუშავდეს თანამედროვე მიკროპროცესორული ტექნიკის ბაზაზე დაფუძნებული რელეური დაცვის სისტემა, რომელიც მოწყობილობის დაიცავს, ქსელში განვითარებული პროცესების შედეგად განვითარებული არანორმალური რეჟიმებით გამოწვეული მოსალოდნელი დაზიანებებისგან.

ნაშრომის ძირითადი შედეგები და მეცნიერული სიახლე.

ავტორის მიერ შესრულებულ ნაშრომში მიღებულია შემდეგი ახალი მეცნიერული შედეგები:

1. დასაბუთებულია, რომ ელექტრომომარაგების სისტემის ენერგოეფექტურობის ამაღლების ძირითადი რეზერვი ქსელის ელემენტების რეაქტიული სიმძლავრის გატარებისაგან სრულ განტვირთვაშია და იგი შესაძლებელია მხოლოდ რეაქტიული დატვირთვის კომპენსაციის საშუალებით;

2. დადგენილია, რომ ელექტროტექნოლოგიური დანადგარებისა და კომპლექსების მიერ მოთხოვნილი რეაქტიული სიმძლავრის სრული კომპენსაცია და შესაბამისად ელექტრომომარაგების ქსელის ელემენტების რეაქტიული სიმძლავრის გატარებისაგან სრული განტვირთვა, შესაძლებელია მხოლოდ საკომპენსაციო სიმძლავრის მდოვრე რეგულირების საშუალებით;

3. შემოთავაზებულია რეაქტიული სიმძლავრის სტატიკური საკომპენსაციო მოწყობილობის მდოვრე რეგულირების მართვის მეთოდი, რომელიც დაფუძნებულია დაუსექციონირებელი კონდენსატორული ბატარეის ძალოვან წრედში მიმდევრობით ჩართული შემზღუდავი ბლოკის საშუალებით კონდენსატორების ტევადური დენის რეგულირების პრინციპზე;

4. დამუშავებულია რეაქტიული სიმძლავრის სტატიკური საკომპენსაციო მოწყობილობის მდოვრე რეგულირების მართვის სისტემის ორი ვარიანტი. პირველ შემთხვევაში სისტემა გახსნილია და ემყარება მომხმარებლის რეაქტიული სიმძლავრის კონტროლს. მეორეში სისტემა შეკრულია და აგრეთვე კომპენსატორის მიერ გენერირებულ ტევადურ სიმძლავრეს.

5. დამუშავებულია კომპენსატორის რელეური დაცვის სისტემა, რომელიც დაფუძნებულია დაცვის კონტროლისა და მართვის თანამედროვე მიკროპროცესორულ მოწყობილობებზე. ამასთან ერთად, მაღალი რიგის ჰარმონიკების კონდენსატორებზე ნეგატიური ზეგავლენის შემცირების მიზნით, შედგენილია ბლოკ-სქემა.

ნაშრომის აპრობაცია

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

1. XVIII Международная научно-техническая конференция “Проблемы автоматизированного электропривода. Теория и практика”(Украина, Одесса 2011 г.);
2. XIX Международная научно-техническая конференция “Проблемы автоматизированного электропривода. Теория и практика” (Украина, Николаевка 2012 гг.);

3. „აშშ-ს საერთაშორისო განვითარების სააგენტოს „ჰიდროენერგეტიკაში ინვესტიციების ხელშეწყობის პროექტისა“ და საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის ერთობლივი კონფერენცია: „ახალგაზრდა ინჟინრების როლი საქართველოს ენერგეტიკის სექტორში“ (თბილისი, 2013 წ.); აგრეთვე პირველდა მეორე თემატურ სემინარზე (თბილისი, 2013 წ.).

ნაშრომის პუბლიკაცია

სადისერტაციო ნაშრომის ძირითადი მასალები გამოქვეყნებულია სამ სამეცნიერო სტატიაში:

1. Научно-технический журнал Одесского национального политехнического университета –Электротехнические и компьютерные системы. 2011, №03 (79);
2. Электротехнические и электросберегающие системы. – Темат.Вып.«Проблемы автоматизированного электропривода. Теория и практика», №3/2012(19), Кременчук 2012;
3. პატენტი. საიდენტიფიკაციო № 12943/01, განაცხადის № 2012 012943, განაცხადის შემოტანის თარიღი: 26/12/2012 წ.

ნაშრომის მოცულობა და სტრუქტურა.

ნაშრომის ტექსტური ნაწილი შედგება შესავლის, სამი თავის, 40 დასახელების გამოყენებული ლიტერატურის ჩამონათვალის, ძირითადი დასკვნების და დანართებისაგან. ნაშრომი მოცულობა შეადგენს 106 გვერდს ცხრილებისა და ნახაზების ჩათვლით.

სამუშაოს მოკლე შინაარსი

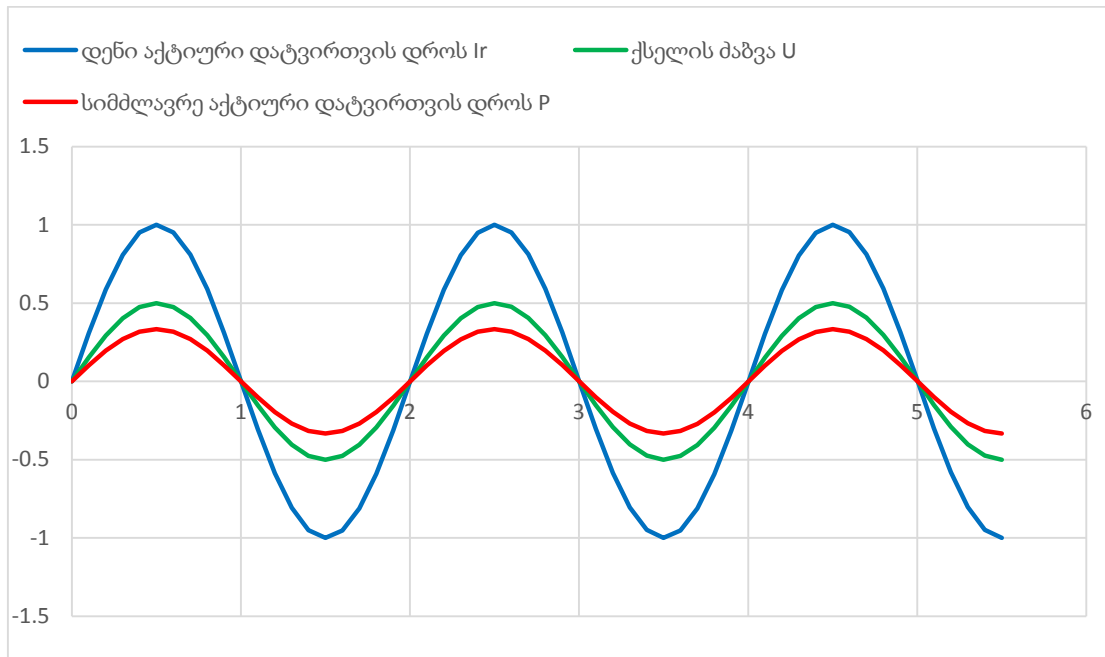
შესავალში განსაზღვრულია დისერტაციაში გადასაწყვეტი ძირითადი სამეცნიერო-ტექნიკური პრობლემა. მოცემულია მისი აქტუალობის დასაბუთება. ნაჩვენებია, რომ ენერგოეფექტურობის ამაღლების ძირითადი რეზერვი, ელექტრომომარაგების სისტემების ელემენტების, კომპენსაციის საშუალებით, რეაქტიული სიმძლავრის გატარებისგან სრულ განტვირთვაშია. ამასთან, დასაბუთებულია, რომ რეაქტიული სიმძლავრის სრული კომპენსაციისათვის, საჭიროა საკომპენსაციო მოწყობილობის მდოვრე რეგულირების მართვის სისტემის დამუშავება.

პირველ თავში განხილულია ელექტროტექნოლოგიური დანადგარების მუშაობის რეჟიმები, რეაქტიული სიმძლავრისა და სიმძლავრის კოეფიციენტის არსი და ბუნება. შედგენილია ტიპური საწარმოთა რეაქტიული დატვირთვის საფეხუროვანი გარაფიკები.

განხილულია და შეფასებულია რეაქტიული სიმძლავრის კომპენსაციის არსებული სახეები.

ელექტრომომხმარებლის მიერ სისტემიდან მოთხოვნილი აქტიური სიმძლავრე, ქსელის ძაბვის $u = U_m \sin \omega t$ სინქრონულად იცვლება $P = P_m \sin \omega t$ (ნახ. 1).

ელექტრომომარაგების ქსელის ინდუქტიურობის მქონე ელემენტებში მიმდინარე ელექტრომაგნიტური პროცესები განსხვავებულ ხასიათს ატარებს. შესაბამისად, პერიოდის პირველი და მესამე მეოთხედების განმავლობაში, როდესაც ძაბვა იცვლება ნულიდან მაქსიმალურ მნიშვნელობამდე, ქსელის ინუქტიურობის მქონე ელემენტებში დენი ზრდას იწყებს მისგან 90° -ის დაგვიანებით (ნახ.2).



ნახ. 1. ძაბვის, დენისა და სიმძლავრის ცვალებადობის მრუდები აქტიური დატვირთვის შემთხვევაში

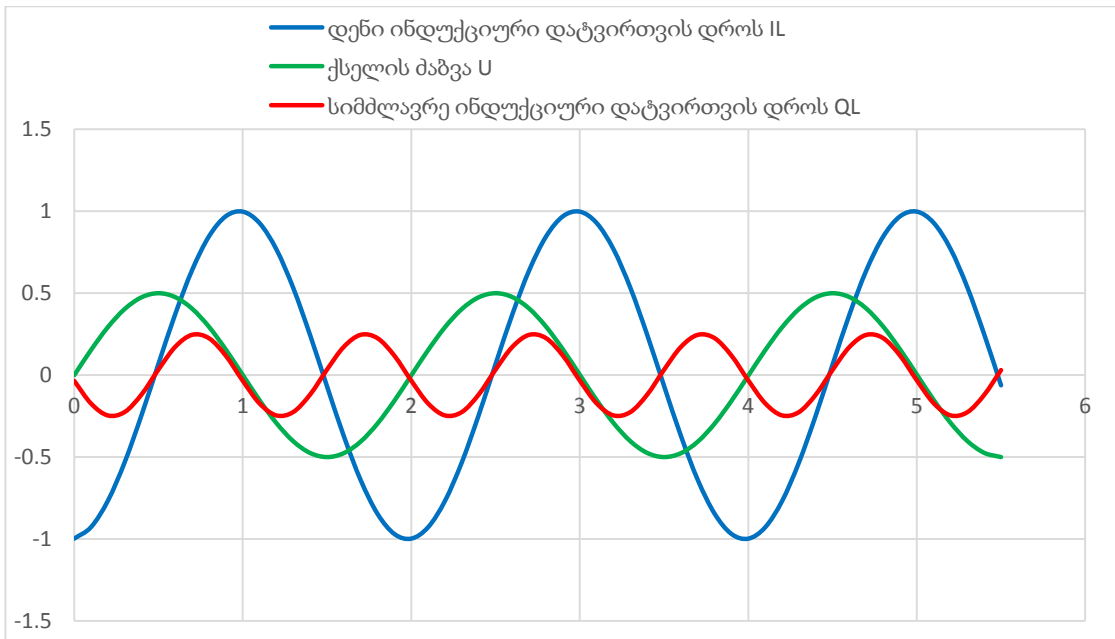
შესაბამისად, ინდუქტიური დატვირთვა შემდეგი ფორმულის მიხედვით იცვლება:

$$Q_L = UI_L \sin 2\omega t, \quad (1)$$

სადაც U – ქსელის ძაბვაა, ვ; I_L – ინდუქტიური დენია.

როგორც (1) ფორმულიდან და ნახ. 2-ზე წარმოდგენილი მრუდებიდან სჩანს, მომხმარებლის ინდუქტიური სიმძლავრე ქსელის ძაბვის ორმაგი

სიხშირით იცვლება და პერიოდის განმავლობაში, ორჯერ დადებით მაქსიმუმს და ორჯერ უარყოფით მნიშვნელობას აღწევს. შესაბამისად, ინდუქტიური დატვირთვის საშუალო მნიშვნელობა, ქსელი ძაბვის ყოველ ნახევარი პერიოდის განმავლობაში ნულის ტოლია.



ნახ. 2. ძაბვის, დენისა და სიმძლავრის ცვალებადობის მრუდები ინდუქტიური დატვირთვის შემთხვევაში

ანალოგიურად მიმდინარეობს ელექტრომაგნიტური პროცესები, ელექტრომომარაგების ქსელის ტევადური წინააღობის მქონე ელემენტების შემთხვევაში. თუმცა, ამ დროს, დენი 90° -ით წინ უსწრებს ძაბვას. შესაბამისად, პერიოდის პირველი და მესამე მეოთხედების დასაწყისში დენი მაქსიმალური მნიშვნელობისაა და როდესაც ძაბვა იზრდება ნულიდან მაქსიმალურ მნიშვნელობამდე, დენი მაქსიმალური მნიშვნელობიდან იწყებს შემცირებას და მეოთხედი პერიოდის გავლის შემდეგ ნულის ტოლი გახდება (ნახ.3).

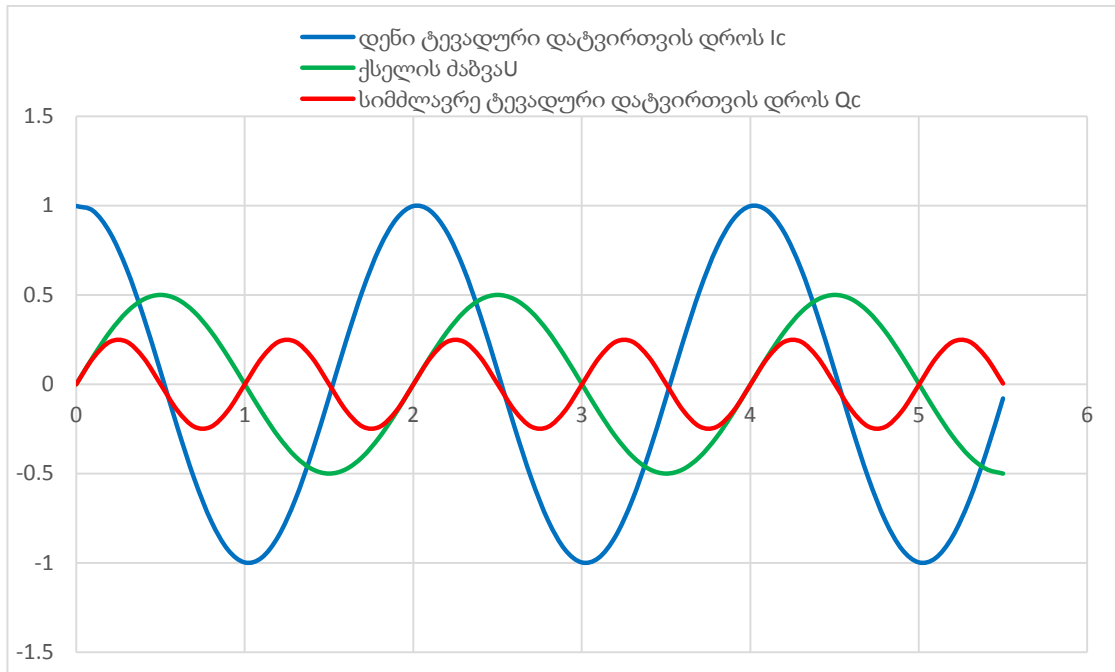
ინდუქტიური დატვირთვის სიმძლავრე შემდეგი ფორმულის მიხედვით იცვლება:

$$Q_c = -UI_c \sin 2\omega t, \quad (2)$$

სადაც I_c – ტევადური დენია, ა.

ელექტრული ქსელის ელემენტებში აქტიური ΔP და რეაქტიული ΔQ სიმძლავრის დანაკარგებს გატარებული სრული სიმძლავრე განაპირობებს. თავის მხრივ, სრული ორივე სიმძლავრეს მოიცავს და იგი განისაზღვრება:

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2}, \quad (3)$$



ნახ. 3. ძაბვის, დენისა და სიმძლავრის ცვალებადობის მრუდეები ტევადური დატვირთვის შემთხვევაში

სინუსოიდალური კანონით ცვალებადობის დენის წრედებში, ძაბვისა და დენის ვექტორებს შორის ძვრის კუთხის (φ) შესაბამის კოსინუსს ($\cos\varphi$) რეაქტიული სიმძლავრის (დატვირთვის) კოეფიციენტი ეწოდება. იგი აქტიურის სიმძლავრეს განსაზღვრავს:

$$P = \sqrt{3}UI\cos\varphi = S\cos\varphi. \quad (4)$$

ფაქტიურად $\cos\varphi$ განსაზღვრავს S სრული სიმძლავრის რა ნაწილს შეადგენს აქტიური სიმძლავრე P . ამით აიხსნება მისი სახელწოდება - სიმძლავრის კოეფიციენტი. რაც მაღალია $\cos\varphi$ -ს მნიშვნელობა, მით უფრო ეფექტურად გამოიყენება ძალოვანი ტრანსფორმატორებისა და ავტოტრანსფორმატორების გამტარუნარიანობა. $\cos\varphi = 1$ შემთხვევაში, სრული სიმძლავრე აქტიურის ტოლია, როდესაც სრულ სიმძლავრეში

რეაქტიული სიმძლავრის წილი ტოლია $\sin\varphi$ მნიშვნელობის. ქსელის ელემენტის გამტარიანობა სრული სიმძლავრის მიხედვით განისაზღვრება:

$$S = \frac{P}{\cos\varphi} . \quad (5)$$

რეაქტიული სიმძლავრის სიდიდის შეფასებისათვის სიმძლავრის კოეფიციენტი არ არის საკმარისი დამახასიათებელი, განსაკუთრებით $\cos\varphi$ –ს მაღალი მნიშვნელობების დროს. მაგალითად, $\cos\varphi = 0,95$ მნიშვნელობისას მიუხედავად იმისა, რომ იგი ძალიან ახლოსაა ერთთან, რეაქტიული სიმძლავრე აქტიური სიმძლავრის მესამედს ($\tan\varphi = 0,33$) შეადგენს.

აქედან გამომდინარე, რეაქტიული სიმძლავრის განსაზღვრის თვალსაზრისით, განსაკუთრებით სიმძლავრის მაღალი მნიშვნელობის დროს უფრო დამახასიათებელია $\tan\varphi$. რიგ ქვეყნებში, ელექტრომომარაგების ქსელის ენერგეტიკული მაჩვენებლების განსაზღვრისათვის $\tan\varphi$ –ს იყენებენ და მას რეაქტიული დატვირთვის კოეფიციენტს უწოდებენ

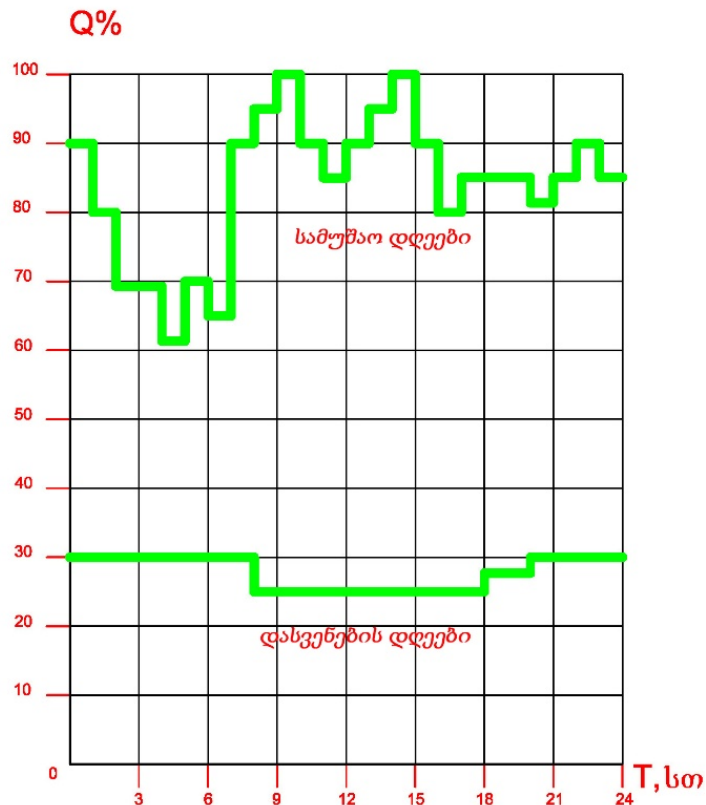
$$Q = P \tan\varphi . \quad (6)$$

არსებული რეაქტიული სიმძლავრის ელექტრომომარაგებიდან, ყველაზე უფრო ფართოდაა გავრცელებული ასინქრონული ძრავები. რიგ ქვეყნებში ასინქრონული ძრავების მიერ ჯამური მოთხოვნილი სიმძლავრე საერთო მოთხოვნილის 75%–ს შეადგენს.

ასინქრონული ძრავების მუშაობის რეჟიმების შესწავლისა და ანალიზის საფუძველზე შეიძლება გავაკეთოთ შემდეგი დასკვნა: ძრავას მიერ მოთხოვნილი რეაქტიული სიმძლავრის მნიშვნელობა, ძრავას ლილვზე მოდებული მომენტის დატვირთვის შემცირებისა და მის მომჭერებზე ძაბვის მომატების შედეგად მცირდება. ძაბვის ზრდის შედეგად გამოწვეული ეფექტი განსაკუთრებით მკვეთრადაა გამოხატული მცირედ დატვირთული ძრავების შემთხვევაში.

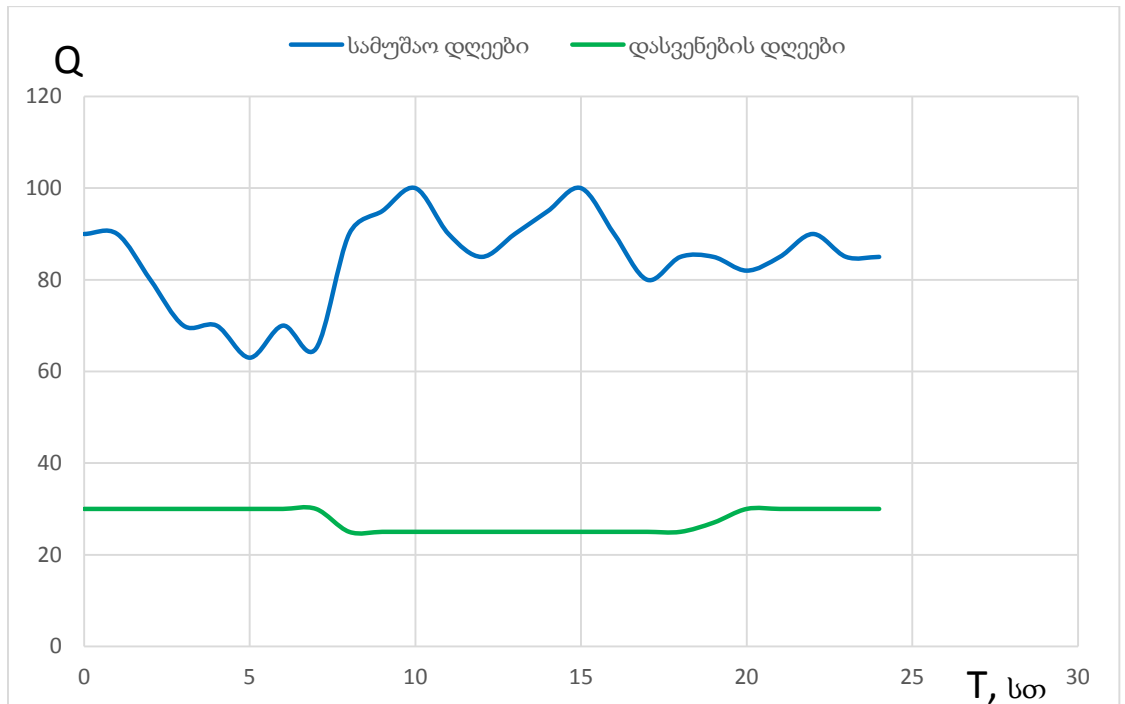
ყველაზე გავრცელებული ელექტროტექნოლოგიური დანადგარებისა და კომპლექსების რეაქტიული სიმძლავრის კოეფიციენტი საშუალოდ 0,8-0,85 ფარგლებში იცვლება. შესაბამისად, მოთხოვნილი რეაქტიული სიმძლავრე აქტიურის 40-45% შეადგენს.

ტიპიური საწარმოოთათვის შედგანილია რეაქტიული დატვირთვის საფეხუროვანი გრაფიკები, რომლებიც მიღებულია ცნობარებში არსებული გრაფიკების საფუძველზე, თანამედროვე ელექტროტექნოლოგიური დანადგარების მუშაობის რეჟიმების გათვალისწინებით. გრაფიკი მანქანათმშენებელი ქარხნისათვის მოცემულია ქვემოთ (ნახ. 4):



ნახ. 4. მანქანათმშენებელი ქარხნის რეაქტიული დატვირთვის საფეხუროვანი გრაფიკი

რეალურად, მომხმარებლების ელექტრული დატვირთვები იცვლება არა საფეხურებრივად (ნახ. 4), არამედ მდოვრედ (ნახ. 5). ამის გამო, საკომპენსაციო რეაქტიული სიმძლავრის საფეხურებრივი რეგულირებისას გაუკომპენსირებელი რჩება რეაქტიული დატვირთვის მნიშვნელოვანი ნაწილი, რომელიც გამოითვლება შემდეგი ფორმულით:



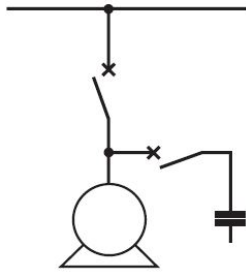
ნახ. 5. მანქანათმშენებელი ქარნის რეაქტიული დატვირთვის რეალური გრაფიკი

$$Q_{\text{გაუკ}} = \sum_{i=1}^n Q_{\text{გაუკ},i} \quad (7)$$

სადაც $Q_{\text{გაუკ},i}$ – თითოეული საფეხურის გაუკომპენსირებელი რეაქტიული სიმძლავრეა, კვარ; n – რეგულირების საფეხურების რაოდენობა.

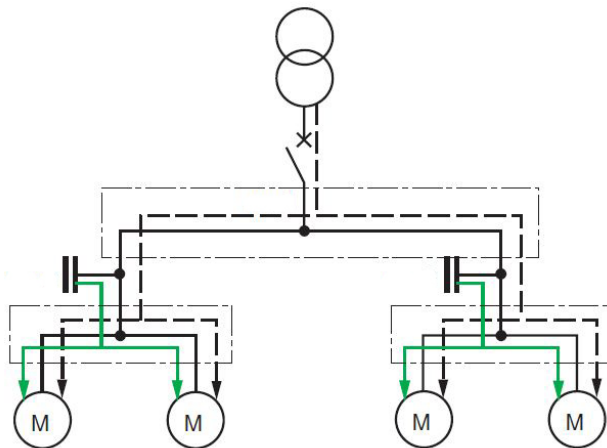
პრაქტიკაში, იმისდა მიხედვით თუ ელექტრომომარაგების ქსელის რომელ დონეზე (საფეხურზე) ხორციელდება კომპენსაცია, ანუ ქსელის რომელ ადგილზე დგება საკომპენსაციო მოწყობილობა, ძირითადად გამოიყენება სამი სახის კომპენსაცია: ინდივიდუალური, ჯგუფური და ცენტრალიზებული კომპენსაცია.

ინდივიდუალური კომპენსაციის შეთხვევაში, საკომპენსაციო მოწყობილობა უშუალოდ მიერთდება ინდუქტიური დატვირთვის მქონე ელექტრომიმღებთან. მაგალითად ასინქრონულ ძრავას, ძალოვანი ტრანსფორმატორის, ინდუქტორის და სხვა მომჭერებზე (ნახ.6).



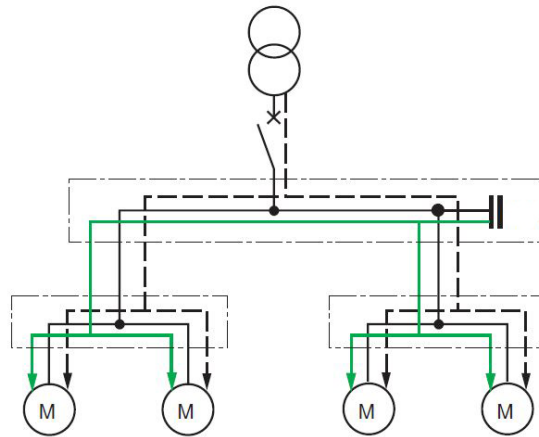
ნახ. 6. რეაქტიული სიმძლავრის ინდივიდუალური კომპენსაცია

ჯგუფური კომპენსაციისას, რეაქტიული დატვირთვის კომპენსაცია ტარდება ყოველი ლოკალური გამანაწილებელი ფარისათვის. შესაბამისად, ყოველი გამანაწილებელი მოწყობილობის სალტესთან დამოუკიდებელი კონდენსატორთა ბატარეების ბლოკი მიერთება. შედეგად, ამისა მნიშვნელოვნად განიტვირთება, ყოველი ლოკალური მთავარ გამანაწილებელი მოწყობილობის ფართან დამაკავშირებელი კაბელი (ნახ.7).



ნახ. 7. რეაქტიული სიმძლავრის ჯგუფური კომპენსაცია

ცენტრალიზებული კომპენსაციისას, კონდენსატორთა ბატარეის ბლოკი უშუალოდ უერთდება დაბალი ძაბვის შემკრებ სალტეს (ნახ. 8).



ნახ. 8. რეაქტიული სიმძლავრის ცენტრალიზებული კომპენსაცია

მეორე თავი ეძღვნება რეაქტიული სიმძლავრის წყაროებსა და საკომპენსაციო მოწყობილობების მართვის სისტემების გამოკვლევასა და შეფასებას.

ელექტრომომარაგების ქსელებში ტევადური რეაქტიული სიმძლავრის გენერატორად შეიძლება განვიხილოთ სამი ტიპის საკომპენსაციო წყარო:

1. ელექტროსადგურების გენერატორები და ელექტროტექნოლოგიურ დანადგარებსა და კომპლექსებში გამოყენებული სინქრონული ძრავები;
2. ელექტრომომარაგების ქსელების საჰაერო და საკაბელო ხაზები;
3. სპეციალურად დადგმული საკომპენსაციო მოწყობილობები (სინქრონული კომპენსატორები, სტატიკური კონდენსატორების ბატარეები და რეაქტიული სიმძლავრის სტატიკური კომპენსატორები).

სინქრონული კომპენსატორი (სკ) წარმოადგენს სპეციალურ სინქრონულ მანქანას, რომლის დანიშნულებაცაა ნიშანცვლადი და ღრმა დიაპაზონში რეგულირებადი რეაქტიული სიმძლავრის გამომუშავება.

ელექტრომომარაგების სისტემების მანაწილებელ ელექტროქსელებში სტატიკური კონდენსატორების გამოყენებით ენერგეტიკული ეფექტურობის ამაღლებას განაპირობებს შემდეგი ფაქტორები:

- ელექტრული ქსელების ძირითად ძალოვან ელემენტების (საჰაერო და საკაბელო ხაზების, ტრანსფორმატორების) სრული დატვირთვების შემცირება;

- ძაბვის, სიმძლავრისა და შედეგად აქტიური და რეაქტიული ელექტროენერჯის კარგების დადაბლება;

- ელექტრული ქსელების ელემენტების (ელექტროგადაცემის ხაზებისა და ძალოვანი ტრანსფორმატორების) ელექტროგამტარობის ამაღლება;

- ელექტროსადგურებში გენერატორების მიერ გამომუშავებული რეაქტიული სიმძლავრის შემცირება;

- ელექტროენერჯის ხარისხის ამაღლება, რომელიც თავის მხრივ განპირობებულია ელექტრომომარაგების ქსელების ელემენტებში ძაბვის კარგების შემცირებითა და მომხმარებლის მიერთების წერტილებში ძაბვის სტაბილიზაციით.

სტატიკური კონდენსატორების ბაზაზე შესრულებულ საკომპენსაციო მოწყობილობებს, სინქრონულ კომპენსატორებთან შედარებით შემდეგი ღირსებანი გააჩნიათ:

1. აქტიური სიმძლავრის მცირე ხვედრითი დანაკარგები;
2. კონდენსატორების გამოყენება შეიძლება 0,4 და 10კვ ძაბვის ნებისმიერი სიმძლავრის საკომპენსაციოდ;

3. მარტივია მომსახურებისა და სამონტაჟო სამუშაოების შესრულებისას;

4. კონდენსატორების ბატარეის I კვარ ხვედრითი ღირებულება პრაქტიკულად დამოკიდებული არ არის ბატარეის სიმძლავრეზე; საკომპენსაციო კონდენსატორებს შემდეგი ნაკლოვანებანი გააჩნიათ:

1. გენერირებული რეაქტიული სიმძლავრე დამოკიდებულია ქსელის ძაბვის კვადრატზე;

2. გენერირებული რეაქტიული სიმძლავრის რეგულირების სირთულე;

3. ნაკლები საექსპლოატაციო ვადა და რემონტის შეუძლებლობა;

4. გადამეტხურება ძაბვის ამაღლების და ქსელში მაღალი რიგის ჰარმონიკების არსებობის შემთხვევაში;

ზემოაღნიშნულიდან გამომდინარე სინქრონული კომპენსატორები შეიძლება გამოყენებული იქნეს მხოლოდ დიდი სტატიკური მდგრადობის ნორმირებული მარაგის უზრუნველსაყოფად და ქსელში მკვეთრად ცვლადი დატვირთვის შემთხვევაში.

კონდენსატორების ბატარეების გამოყენების შემთხვევაში სისტემის მდგრადობის მარაგის კოეფიციენტი უნდა იყოს მინიმუმ ნორმირებულის 10%.

ყველა ცნობილი ელექტროტექნოლოგიური დანადგარების, ელექტრული აპარატებისა და მოწყობილობების მწარმოებელი კომპანიის მიერ შექმნილი რეაქტიული სიმძლავრის საკომპენსაციო მოწყობილობა, ძირითადად დაფუძნებულია სტატიკური კონდენსატორების ბაზაზე. ეს მოწყობილობები, გენერირებული ტევადური სიმძლავრის რეგულირებისათვის აღჭურვილია ერთი, ორი, სამი და იშვიათად ოთხი ერთნაირი, ან ერთმანეთისგან განსხვავებული ტევადობის მქონე კონდენსატორული ბატარეით. შესაბამისად, იმის და მიხედვით თუ რა სიმძლავრეა გასაკომპენსირებელი მართვის სისტემა ქსელთან, გარკვეული კომბინაციით, მიაერთებს ერთ ან რამოდენიმე კონდენსატორულ ბლოკს.

ამ პრინციპზე შესრულებული მართვის სისტემები გამოყენებულია: ფრაგული კომპანია „შნეიდერ ელექტრიკის“ მიერ წარმოებულ 0,4 კვ ძაბვის საკომპენსაციო მოწყობილობების Varpact CLASSIC – ის, Varpact COMFORT – ისა და Varpact HARMONY – ის მოდულებში; რუსული კომპანია ბრიანსკის ელექტროტექნიკური ქარხნის მიერ წარმოებულ „BAPHET –HΦ“ – ტიპის, 0,4 კვ ძაბვისა და BAPHET-HC – ტიპის 6(10) კვ ძაბვის საკომპენსაციო მოწყობილობებში; გერმანული კომპანიის „Siemens“– ისა და რუსული კომპანია „Сервис Монтаж Интеграция“ – ს ერთობლივად წარმოებული KPM-0,4 და KPM-10 ტიპის საკომპენსაციო მოწყობილობებში.

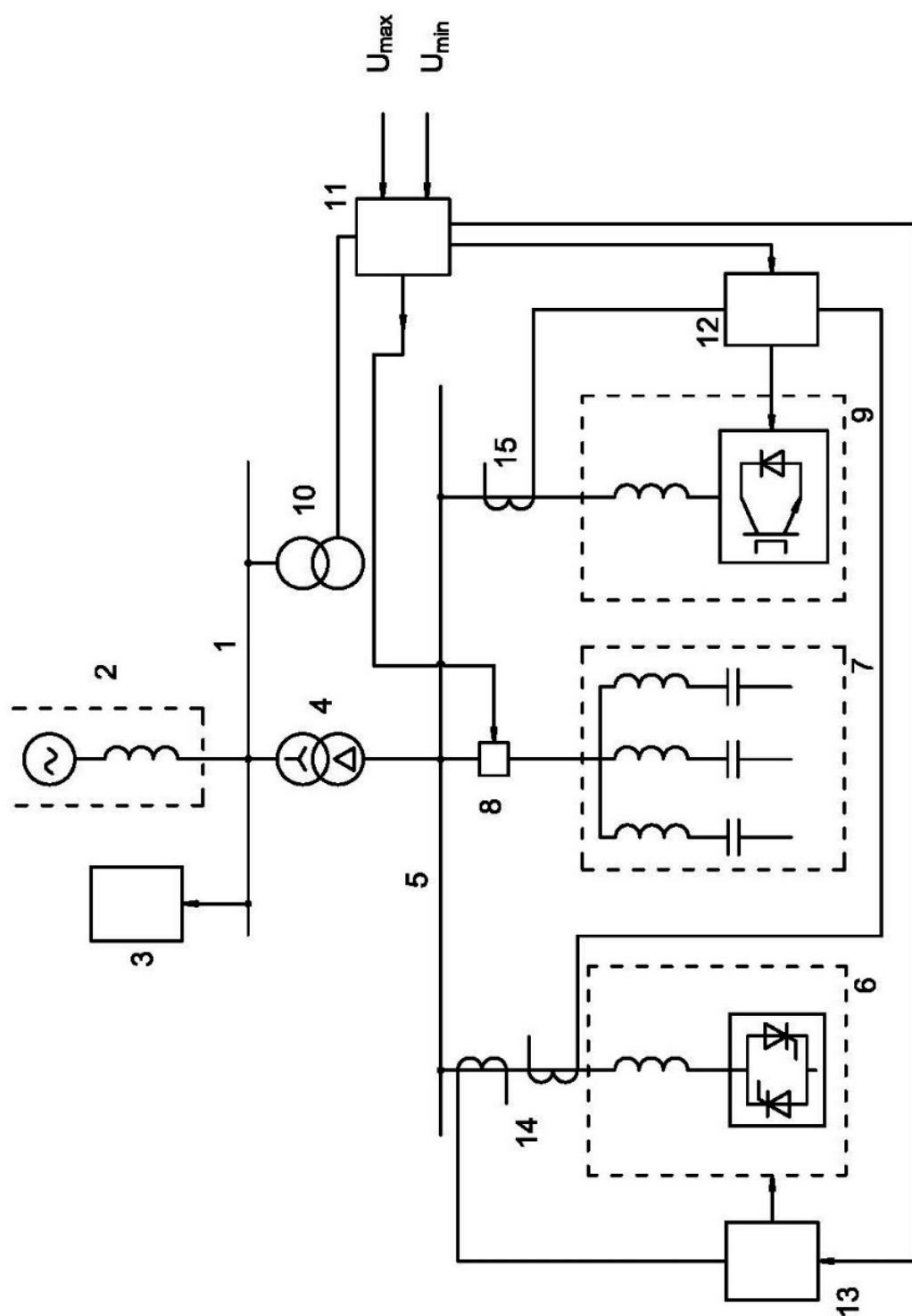
რეაქტიული სიმძლავრის მრავალსაფეხუროვანი რეგულირებისას, დატვირთვის ცვალებადობის პირობებში, მართვის სისტემის ამოცანაა განსაზღვროს მომხმარებლის მიერ მოთხოვნილი ინდუქტიური დატვირთვა

და სათანადო კომბინაციის საფუძველზე, ქსელთან მიაერთოს ინდუქტიური დატვირთვის ტოლი სიდიდის, ტევადური სიმძლავრის მქონე შესაბამისი კონდენსატორული ბლოკები. მოთხოვნილი რეაქტიული სიმძლავრის გაზრდის ან შემცირებისას, მართვის სისტემა უზრუნველყოფს ქსელთან მიერთებული კონდენსატორული ბლოკების რაოდენობასა და კომბინაციის შეცვლას და საკომპენსაციო მოწყობილობა გამოიმუშავებს რეაქტიული დატვირთვის შესაბამის საკომპენსაციო ტევადურ სიმძლავრეს.

რეაქტიული სიმძლავრის კონდენსატორული საკომპენსაციო მოწყობილობების მართვის სისტემები, ძირითადად მოთხოვნილი რეაქტიული სიმძლავრის კონტროლზეა დაფუძნებული. შესაბამისად, ინფორმაცია დატვირთვის სიმძლავრის შესახებ, მომხმარებლის წრედში ჩართული დენის ტრანსფორმატორისა და ქსელის ძაბვის გაზომვის შედეგად მიიღება. მაღალი ძაბვის ქსელების შემთხვევაში, ინფორმაცია ძაბვის შესახებ, ძაბვის ტრანსფორმეტორიდან მიიღება.

ბოლო წლებში მეცნიერების მიერ, შემოთავაზებულია რეაქტიული სიმძლავრის კომპენსატორის მართვის ხერხი და რეალიზაციისათვის დამუშავებულია საკომპენსაციო მოწყობილობის ცალხაზოვანი სქემა (ნახ.9).

შემოთავაზებული საკომპენსაციო მოწყობილობა შედგება შემდეგი ძირითადი ელემენტებისაგან: დამწვევი ქვესადგურის ცვლადი დენის სალტე 1, რომელიც იკვებება ცვლადი დენის ქსელიდან 2. სალტე 1 დატვირთვისთან 3 დაკავშირებულია ძალოვანი ტრანსფორმატორის 4 საშუალებით. ტრანსფორმატორიდან 4 კვებას ღებულობს რეაქტიული სიმძლავრის საკომპენსაციო მოწყობილობის სალტე 5. სალტესთან 5 მიერთებულია ჰარმონიკების ტირისტორული რეგულატორი 6, მაღალი რიგის ჰარმონიკების ფილტრი 7 თავისიამომრთველით 8 და CTATK ტიპის სტატიკური კომპენსატორი 9. სალტესთან აგრეთვე, მიერთებულია ძაბვის ტრანსფორმატორი 10, საიდანაც ძაბვა მიეწოდება შედარების ბლოკ 11-ს. შედარების ბლოკიდან სიგნალი მიეწოდება კომპენსატორის



ნახ.9 საკომპუნსაციო მოწყობილობის ცალსაზოვანი სქემა

მართვის სისტემას 12 და ჰარმონიკების ტირისტორული რეგულატორის მართვის სისტემას 13. ამასთან ერთად, მართვის 12 და 13 სისტემებს მიეწოდებათ პროპორციული სიგნალი 14 და 15 დენის ტრანსფორმატორებიდან, რომლებიც ჩართული არიან კომპენსატორისა და ტირისტორული რეგულატორის ძალოვან წრედებში.

ამ ხერხის ნაკლია ის, რომ შეუძლებელია კომპენსატორის მიერ გამომუშავებული რეაქტიული სიმძლავრის მდოვრე რეგულირება, დაბალია მართვის სიზუსტე, რეგულირების ხარისხი და რეგულირების დიაპაზონი.

აღნიშნული ნაკლოვანებებს განაპირობებს გამოყენებული მართვის პრინციპი. რომლის დროსაც, მართვა ხორციელდება რეაქტიული სიმძლავრის წყაროს კვების წყაროსთან დაბალი ან მაღალი ძაბვით მიერთების საშუალებით. შესაბამისად, რეაქტიული სიმძლავრის წყარო უზრუნველყოფს, მხოლოდ სამი ფიქსირებული მნიშვნელობის საკომპენსაციო რეაქტიული სიმძლავრის გენერირებას. ამიტომ, კომპენსატორი ვერ უზრუნველყოფს გამომუშავებული რეაქტიული სიმძლავრის მდოვრე რეგულირებას. ამის გამო გაუკომპენსირებელი რჩება მომხმარებლის მიერ მოთხოვნილი რეაქტიული სიმძლავრის მნიშვნელოვანი ნაწილი. შედეგად, დაბალია საკომპენსაციო მოწყობილობის კომპენსაციის ეფექტი. ეს განსაკუთრებით მკვეთრად გამოიხატება მომხმარებლის მიერ მოთხოვნილი რეაქტიული სიმძლავრის დიდ დიაპაზონში ცვლილებისას.

ზემოთ აღნიშნულიდან გამომდინარე, შეგვიძლია გავაკეთოთ შემდეგი დასკვნა: მიზანი, რეაქტიული დატვირთვის სრული შეიძლება მიღწეულ იქნეს, მხოლოდ და მხოლოდ, საკომპენსაციო მოწყობილობის მიერ გენერირებული რეაქტიული სიმძლავრის მდოვრე რეგულირების საშუალებით.

მესამე თავში დამუშავებულია რეაქტიული სიმძლავრის სტატიკური საკომპენსაციო დანადგარის მდოვრე რეგულირების მართვის სისტემა.

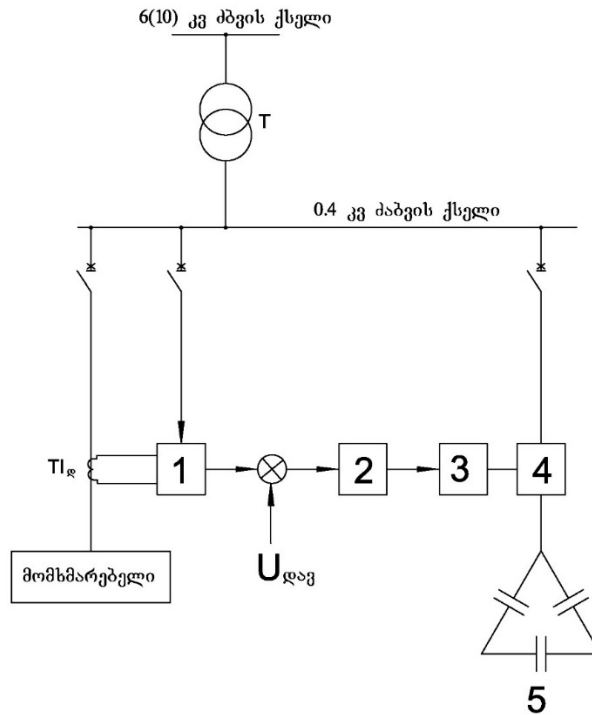
დისერტაციაში, ელექტრომომარაგების ქსელის რეაქტიული სიმძლავრის გატარებისგან სრული განტვირთვისათვის დაისახა მიზანი, რომ ადგილზე მოხდეს ელექტრომომხმარებლის მიერ მოთხოვნილი რეაქტიული დატვირთვის შესაბამისი სიმძლავრის გამომუშავება და განხორციელდეს სრული კომპენსაცია. შესაბამისად, დამუშავდეს რეაქტიული სიმძლავრის საკომპენსაციო მოწყობილობის მდოვრე რეგულირების მართვის სისტემა.

დასახული მიზნის მისაღწევად, შემოთავაზებულია, დაუსექციონირებელი სტატიკური კონდენსატორთა ბატარეით აღჭურვილი, რეაქტიული სიმძლავრის საკომპენსაციო მოწყობილობის მართვის სისტემა, რომელიც გათვალისწინებულია 0.4 კვ ძაბვის სამფაზა ქსელისათვის. იგი დაფუძნებულია სტატიკური კონდენსატორების მიერ გენერირებული რეაქტიული სიმძლავრის შეზღუდვის პრინციპზე. შემოთავაზებული პრინციპის საფუძველზე დამუშავებულია საკომპენსაციო მოწყობილობის მართვის სისტემა, რომელიც უზრუნველყოფს გენერირებული ტევადური სიმძლავრის მდოვრე რეგულირებას.

დამუშავებული მდოვრე რეგულირების საკომპენსაციო მოწყობილობისათვის შედგენილია ბლოკ-სქემა (ნახ.10).

ბლოკ-სქემა შედგენილია დაბალი (0,4 კვ) ძაბვის ქსელებისათვის.

საკომპენსაციო მოწყობილობის ბლოკ-სქემა (ნახ. 10) მოცავს შემდეგ ძირითად ელემენტებს: ამწევ ძალოვან ტრანსფორმატორს (T); 0,4 კვ ძაბვის დაუსექციონირებელ შემკრებ სალტეს; შემკრებ სალტესთან ძალური ავტომატური ამომრთველით მიერთებულ ელექტროტექნოლოგიურ დანადგარს – ელექტრომომხმარებელს; ელექტრომომხმარებლის ქსელში ჩართულ დენის ტრანსფორმატორს (TI); დენის ტრანსფორმატორთან მიერთებულ რეაქტიული დატვირთვის გადამწოდს (1), რომელიც ქსელის ძაბვას ღებულობს სალტედან Q1 ამომრთველის საშუალებით,



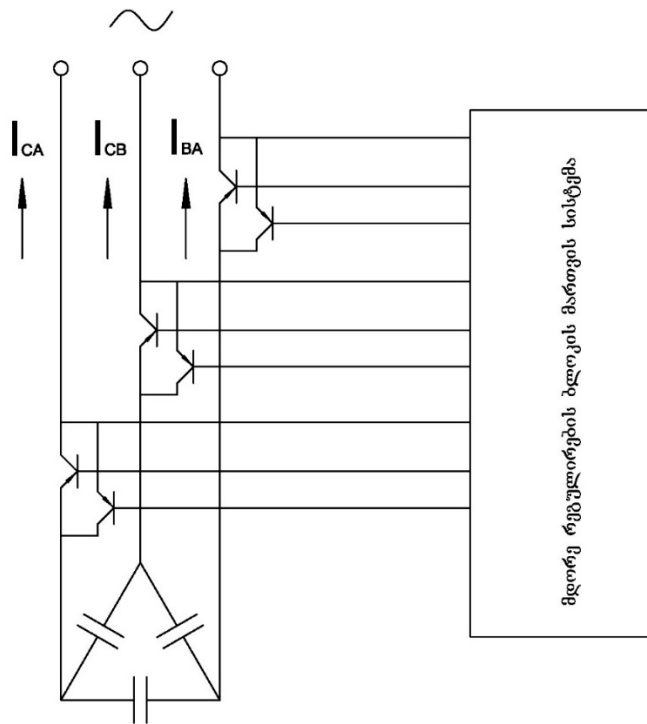
ნახ. 10. 0,4 კვ ძაბვის რეაქტიული სიმძლავრის საკომპენსაციო მოწყობილობის მართვის სისტემის ფუნქციური სქემა (მართვის გახსნილი სისტემით)

რეგულირების ბლოკის მართვის სისტემას (2); რეგულირების ბლოკის მართვის სისტემის გამოსასვლელთან შესასვლელით მიერთებულ რეაქტიული სიმძლავრის რეგულირების (შემზღუდავი) ბლოკის მართვის სისტემას (3); სალტესთან ამომრთველით მიერთებულ შემზღუდავი ბლოკის ძალურ ნაწილს (4) და მასთან შესასვლელით მიერთებულ სტატიკური კონდენსატორთა ბატარეას (ბლოკს) (5).

მოწყობილობის მოქმედების პრინციპი მდგომარეობს შემდგომში: რეაქტიული დატვირთვის გადამწოდი (1) ქსელის ძაბვისა და დენის ტრანსფორმატორებიდან მიღებული ინფორმაციის საფუძველზე გამოიმუშავებს მომხმარებლის რეაქტიული დატვირთვის, შესაბამის სიგნალს და მიაწვდის მდოვრე რეგულირების ბლოკის მართვის სისტემას (2). თავის მხრივ, მართვის სისტემა, რეგულირების ბლოკს (3) მიაწვდის მომხმარებლის ინდუქტიური დატვირთვის დენის სათანადო მართვის სიგნალს. შესაბამისად, რეგულირების ბლოკი შეზღუდავს

კონდენსატორების ტევადურ დენს მომხმარებლის ინდუქტიური დატვირთვის დენის მნიშვნელობამდე და საკომპენსაციო მოწყობილობის გამოსავალზე უზრუნველყოფს მომხმარებლის ინდუქტიური დატვირთვის ტოლ ტევადურ სიმძლავრეს. მაშასადამე, მოწყობილობა მომხმარებლის მიერ ელექტრომომარაგების ქსელიდან მოთხოვნილი რეაქტიული სიმძლავრის ტოლი ტევადური სიმძლავრის გამომუშავების საშუალებით უზრუნველყოფს მის სრულ კომპენსაციას.

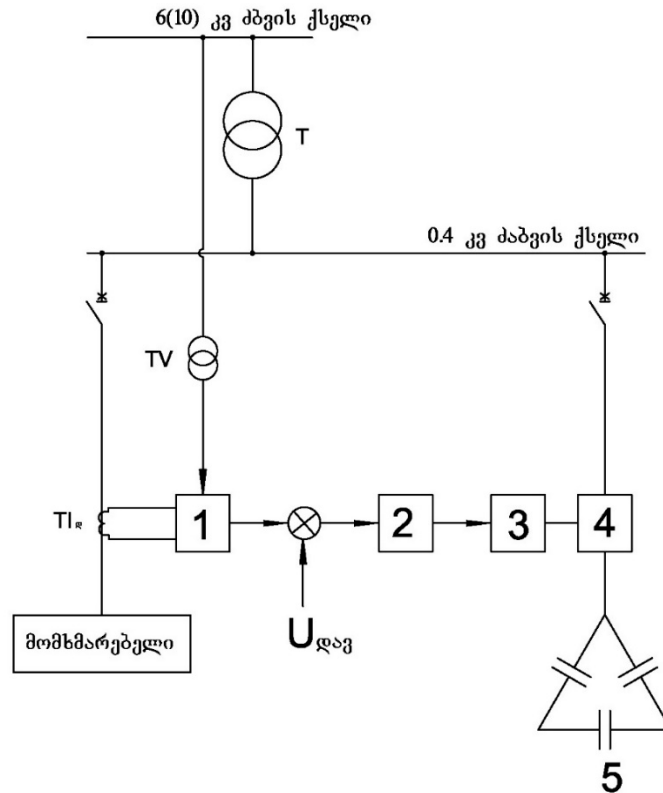
მდორე რეგულირების (შემზღუდავი) ბლოკის ძალური ნაწილი შესრულებულია მართვად ნახევარგამტარულ ხელსაწყოებზე, რომელიც გამარტივებული სახით წარმოდგენილია ქვემოთ (ნახ.11).



ნახ. 11. რეაქტიული სიმძლავრის მდორე რეგულირების (შემზღუდავი) ბლოკის ძალური ნაწილის სქემა.

რეაქტიული სიმძლავრის მდორე რეგულირების ბლოკის ძალური ნაწილი შესრულებულია, ურთიერთ შემხვედრ-პარალელურად შეერთებული, ძალოვანი ტრანზისტორების საშუალებით.

შემოთავაზებული საკომპენსაციო მოწყობილობის მართვის სისტემის გამოყენების არეალის გაზრდის მიზნით, დამუშავებულია საკომპენსაციო მოწყობილობის მეორე ვარიანტი, რომელიც გათვალისწინებულია 6 და 10 კვ ძაბვის ქსელებისათვის (ნახ. 12).



ნახ. 12. 6(10) კვ ძაბვის რეაქტიული სიმძლავრის საკომპენსაციო მოწყობილობის მართვის სისტემის ფუნქციური სქემა (მართვის გახსნილი სისტემით)

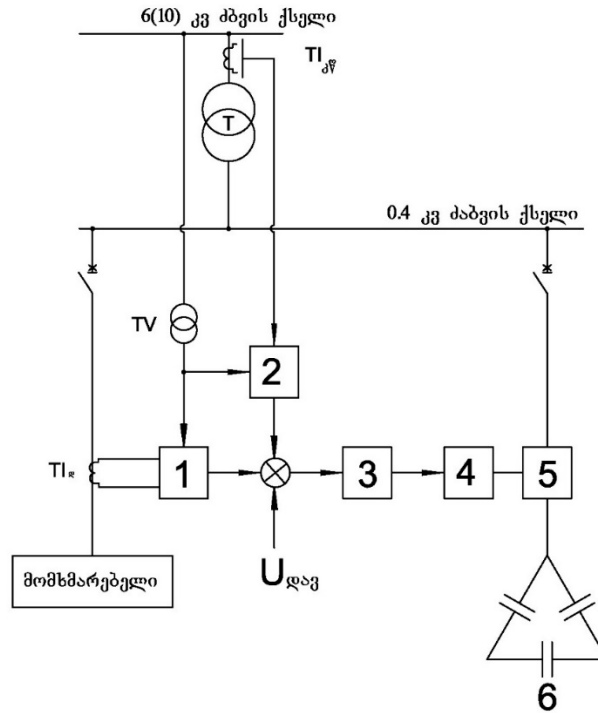
პირველი სქემის ვარიანტისგან განსხვავებით (ნახ. 10), მეორეს შემთხვევაში (ნახ. 12) რეაქტიული დატვირთვის გადამწოდს, ინფორმაცია ქსელის ძაბვის შესახებ, მიეწოდება 10/0.1 კვ TV ძაბვის ტრანსფორმატორის მეორადი გრაგნილიდან.

სქემის მეორე ვარიანტში, მდორე რეგულირების ბლოკის ძალური ნაწილი სქემატურად უცვლელია.

რიგ შემთხვევებში, მომხმარებელი ელექტრომომწოდებელთან ანგარიშსწორებას ანხორციელებს მაღალი ძაბვის მხარეს. აქედან

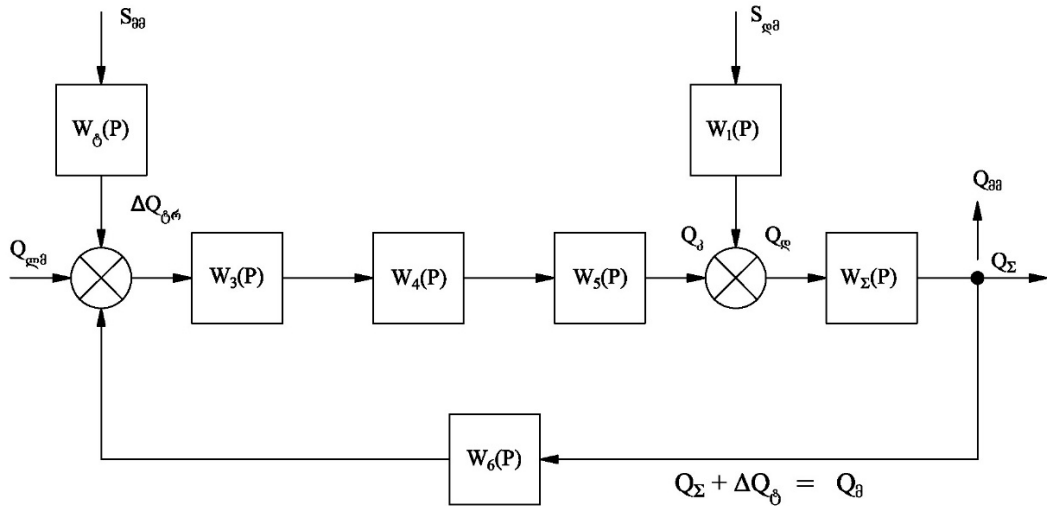
გამომდინარე, დამუშავებული საკომპენსაციო მოწყობილობის მართვის სისტემის სტატიკური და დინამიკური თვისებების გაუმჯობესების უზრუნველყოფისათვის, ჩატარებულია მართვის ოპტიმიზაცია. შესაბამისად, სისტემა დამატებით, აღჭურვილია მაკორექტირებელი რგოლით (ნახ. 13). კერძოდ, კვების წყაროს წრედში, დამწვევი ქვესადგურის ძალოვანი ტრანსფორმატორის მეორადი ძაბვის გრაგნილის გამოსასვლელსა და შემკრები სალტეს შორის, მომხმარებელსა და საკომპენსაციო მოწყობილობამდე, ჩართულია დენის ტრანსფორმატორი $TI_{3\Phi}$. დენის ტრანსფორმატორის მეორად გრაგნილთან მიერთებულია რეაქტიული დატვირთვის გადამწოდი (2), რომელიც აკონტროლებს მომხმარებლის მიერ მოთხოვნილი ინდუქტიური ხასიათის რეაქტიული დატვირთვისა და საკომპენსაციო მოწყობილობის მიერ გენერირებული ტევადური ხასიათის რეაქტიული სიმძლავრეთა სხვაობას. ფაქტიურად იგი წარმოადგენს მომხმარებლის მიერ მოთხოვნილ რეაქტიულ და კომპენსატორის მიერ გენერირებულ სიმძლავრეებს შორის სხვაობის უკუკავშირს. შესაბამისად, უკუკავშირის საშუალებით მიღებული ინფორმაცია შედარდება და სიგნალე მიეწოდება (3) შესასვლელზე, რის შემდეგაც იგზავნება სიმძლავრეთა სხვაობის სიგნალი, რომელიც კონდენსატორების მიერ დამუშავებული რეაქტიული სიმძლავრის სიდიდეს განსაზღვრავს. შესაბამისად, კონდენსატორების მიერ გენერირებული რეაქტიული სიმძლავრე იზრდება, მანამ სანამ, ქსელიდან მოხმარებული რეაქტიული სიმძლავრე არ მიაღწევს ელექტრომომარაგების სისტემის მიერ ლიმიტირებული რეაქტიული სიმძლავრის კოეფიციენტის შესაბამის მნიშვნელობას.

საკომპენსაციო დანადგარის ოპტიმიზირებული მართვის სისტემებში მიმდინარე ელექტრომაგნიტური დინამიკური პროცესების შესწავლისა და ანალიზისათვის, სისტემის ფუნქციონალური სქემის (ნახ.13) საფუძველზე, შედგენილია მართვის სისტემის სტრუქტურული სქემა, რომელიც წარმოადგენილია ნახ. 14–ზე.



ნახ. 13. რეაქტიული სიმძლავრის საკომპენსაციო დანადგარის ოპტიმიზირებული მართვის სისტემის ფუნქციური სქემა

სტრუქტურულ სქემაზე დატანილია შემდეგი აღნიშვნები: $S_{\text{და}}$ – მომხმარებლის მიერ ძალოვანი ტრანსფორმატორის დაბალი ძაბვის მხერეს მოთხოვნილი სრული სიმძლავრე, კვა; $S_{\text{მა}}$ – მომხმარებლის მიერ ძალოვანი ტრანსფორმატორის დაბალი ძაბვის მხერეს მოთხოვნილი სრული სიმძლავრე, კვა; $S_{\text{მა}}$ – მომხმარებლის მიერ ძალოვანი ტრანსფორმატორის მაღალი ძაბვის მხერეს მოთხოვნილი სრული სიმძლავრე, კვა; $Q_{\text{ლა}}$ – ელექტრომომარაგების სისტემის მიერ მაღალი ძაბვის მხარეს ლიმიტირებული რეაქტიული სიმძლავრე, კვარ; $Q_{\text{კ}}$ – კომპენსატორის მიერ გენერირებული ტევადური სიმძლავრე, კვარ; $Q_{\text{და}}$ – მომხმარებლის მიერ მოთხოვნილი რეაქტიული სიმძლავრე, დაბალი ძაბვის მხარეს, კვარ; $Q_{\text{მა}}$ – მომხმარებლის მიერ, სისტემიდან მაღალი ძაბვის მხარეს მოთხოვნილი რეაქტიული სიმძლავრე, კვარ; $\Delta Q_{\text{ტ}}$ – ძალოვანი ტრანსფორმატორში დატვირთვის გატარებით გამოწვეული რეაქტიული სიმძლავრის დანაკარგები, კვარ;



ნახ. 14. საკომპენსაციო დანადგარის ოპტიმიზირებული მართვის სისტემის სტრუქტურული სქემა

$W_1(P)$ – მომხმარებლის რეაქტიული დატვირთვის გადამწოდის გადამცემი ფუნქცია; $W_8(P)$ – დამწვევი ქვესადგურის ძალოვანი ტრანსფორმატორში არსებული რეაქტიული დატვირთვის დანაკარგების (ΔQ_8) გადამწოდის გადამცემი ფუნქცია; $W_3(P)$ – რეგულირების ბლოკის მართვის სისტემის გადამცემი ფუნქცია; $W_4(P)$ – რეგულირების ბლოკის მართვის სისტემის გადამცემი ფუნქცია; $W_5(P)$ – შემზღუდავი ბლოკის გადამცემი ფუნქცია; $W_6(P)$ – ძალოვანი ტრანსფორმატორის დაბალი ძაბვის მხარეს მომხმარებლი მიერ ინდუქციურ დატვირთვისა და საკომპენსაციო მოწყობილობის მიერ გენერირებულ რეაქტიულ ტევადური სიმძლავრეების შორის სხვაობის უკუკავშირის გადამცემი ფუნქცია.

ფუნქციონალური და სტრუქტურული სქემების საფუძველზე დამუშავებულია მართვის სისტემის მათემატიკური აღწერილობა, რომელიც მოცულობის შეზღუდვის გამო ავტორეფერატში წარმოდგენილი არაა.

საკომპენსაციო მოწყობილობებისგან რელეური დაცვისადადმი წაყენებული მოთხოვნების საფუძველზე დამუშავებულია რელეური დაცვის სისტემა, რომელიც შესრულებულია Sepam-ისა და Mikom-ის თანამედროვე მიკროპროცესორული მოწყობილობის გამოყენებით.

ელექტრომომარაგების ქსელებში აგრეთვე ამასთან ერთად, მაღალი რიგის ჰარმონიკების კონდენსატორებზე ნეგატიური ზეგავლენის შემცირების მიზნით, შედგენილია ბლოკ-სქემა.

მრავალი ელექტროტექნოლოგიური დანადგარები, მოქმედებისა და მართვის პრინციპებიდან გამომდინარე, ამახინჯებენ ქსელის დენისა და ძაბვის ფორმას და იწვევენ მაღალი რიგის ჰარმონიკების გავრცელებას, რომლებიც იწვევენ ქსელში ჩართული კონდენსატორების გადახურებას და მწყობრიდან გამოსვლას.

კონდენსატორების დაცვის მიზნით, საკომპენსაციო მოწყობილობა აღჭურვილია ფილტრით, რომელიც ჩართულია კონსატებსა და შემზღუდავ ბლოკს შორის.

ძირითადი დასკვნები

სადისერტაციო ნაშრომში შესრულებული სამეცნიერო სამუშაოების საფუძველზე შეიძლება გავაკეთოთ შემდეგი დასკვნები:

1. ელექტროტექნოლოგიური დანადგარებისა და კომპლექსების ძალოვან ელემენტებში მუშაობის რეჟიმების შედეგად წარმოქმნილი ელექტრომაგნიტური პროცესების ანალიზის საფუძველზე დადგენილია, რომ ელექტრომომხმარებელთა სიმძლავრის კოეფიციენტი საშუალოდ 0,8-0,85 ფარგლებში იცვლება და მოთხოვნილი რეაქტიული სიმძლავრე აქტიურის 40-45% შეადგენს. ამის გამო, ქსელის ელემენტები გადატვირთულია რეაქტიული სიმძლავრის გატარებით, შესაბამისად დიდია ამ მიზეზით გამოწვეული ელექტროენერჯისა და ძაბვის დანაკარგები, დაბალია ენერგეტიკული მაჩვენებლები, ენერგოეფექტურობა და მაღალია ქსელის ელემენტების ცვეთა.

2. ელექტრომომარაგების სისტემის ენერგოეფექტურობის ამაღლების ძირითადი რეზერვი ქსელის ელემენტების რეაქტიული სიმძლავრის გატარებისაგან სრულ განტვირთვაშია და იგი შესაძლებელია მხოლოდ რეაქტიული დატვირთვის სრული კომპენსაციის საშუალებით.

3. საერთაშორისოდ აღიარებული მეცნიერების მიერ შემოთავაზებული რეაქტიული სიმძლავრის საკომპენსაციო დანადგარების მართვის მეთოდებისა და პრინციპების ანალიზის. აგრეთვე, მოწინავე ფირმების მიერ წარმოებული მოწყობილობების და მართვის სისტემების გამოკვლევის საფუძველზე დასაბუთებულია, რომ ისინი, საფეხუროვანი მართვის პრინციპის გამო, ვერ უზრუნველყოფენ მოთხოვნილი რეაქტიული სიმძლავრის სრულ კომპენსაციას და საშუალოდ გაუკომპენსირებელი რჩება მოთხოვნილი რეაქტიული სიმძლავრის 30%.

4. დასაბუთებულია, რომ ელექტროტექნოლოგიური დანადგარებისა და კომპლექსების მიერ მოთხოვნილი რეაქტიული სიმძლავრის სრული კომპენსაცია და შესაბამისად ელექტრომომარაგების ქსელის ელემენტების რეაქტიული სიმძლავრის გატარებისაგან სრული განტვირთვა, შესაძლებელია განხორციელდეს, მხოლოდ საკომპენსაციო სიმძლავრის მდოვრე რეგულირების საშუალებით.

5. შემოთავაზებულია რეაქტიული სიმძლავრის სტატიკური საკომპენსაციო მოწყობილობის მდოვრე რეგულირების მართვის მეთოდი, რომელიც დაფუძნებულია დაუსექციონირებელი კონდენსატორული ბატარეის ძალოვან წრედში მიმდევრობით ჩართული შემზღუდავი ბლოკის საშუალებით კონდენსატორების ტევადური დენის რეგულირების პრინციპზე.

6. დამუშავებულია რეაქტიული სიმძლავრის სტატიკური საკომპენსაციო მოწყობილობის მდოვრე რეგულირების მართვის სისტემის ორი ვარიანტი. პირველ შემთხვევაში სისტემა გახსნილია და ემყარება მხოლოდ მომხმარებლის მიერ მოთხოვნილი რეაქტიული სიმძლავრის კონტროლს. მეორე ვარიანტისას, სისტემა შეკრულია და ერთდროულად აკონტროლებს, როგორც მომხმარებლის ინდუქტიურ დატვირთვას, აგრეთვე კომპენსატორის მიერ გენერირებულ ტევადურ სიმძლავრეს.

7. შედგენილია საკომპენსაციო მოწყობილობის შემზღუდავი ბლოკის ძალოვანი ნაწილის სქემის ორი ვარიანტი. პირველი განკუთვნილია თავისუფალი ქსელებისათვის, ხოლო მეორე – ეგრედწოდებული მაღალი რიგის ჰარმონიკებით დაბინძურებული ქსელებისათვის.

8. დამუშავებულია მდოვრე რეგულირების საკომპენსაციო მოწყობილობის მართვის სისტემების ფუნქციონალური და სტრუქტურული სქემები. მოცემულია მათი მათემატიკური აღწერილობა.

9. საკომპენსაციო მოწყობილობის ოროვე ვარიანტისათვის ჩატარებულია ექსპერიმენტული გამოკვლევა. შედეგებმა დაადასტურა, რომ საკომპენსაციო დანადგარის შემოთავაზებული მართვის სისტემას გააჩნია გამომუშავებული საკომპენსაციო რეაქტიული სიმძლავრის, დიდ დიაპაზონი (0-1), მდოვრე რეგულირების უნარი და მისი პრაქტიკული რეალიზაცია საშუალებას მოგვცემს, განვახორციელოთ ელექტრომომხმარებლების მიერ მოთხოვნილი რეაქტიული სიმძლავრის სრული კომპენსაცია. განვტვირთოთ ელექტრომომარაგების ქსელი რეაქტიული სიმძლავრის გატარებისაგან. შესაბამისად შევამციროთ ძაბვის, სიმძლავრისა და ელექტროენერჯის დანაკარგები, გავზარდოთ ენერგეტიკული მაჩვენებლები და ავამაღლოთ ენერგოეფექტურობა.

10. ქსელში განვითარებული არანორმალური რეჟიმების შედეგად კონდენსატორებში მოსალოდნელი დაზიანებებისგან დაცვისათვის, დამუშავებულია კომპენსატორის რელეური დაცვის სისტემა, რომელიც დაფუძნებულია დაცვის კონტროლისა და მართვის Sepam-ისა და Mikom-ის თანამედროვე მიკროპროცესორულ მოწყობილობებზე. ამასთან ერთად,

მაღალი რიგის ჰარმონიკების კონდენსატორებზე ნეგატიური ზეგავლენის შემცირების მიზნით, შედგენილია ბლოკ-სქემა.

დისერტაციის ძირითადი შემცველობა გამოქვეყნებულია შემდეგ შრომებში:

1. ჭუნაშვილი ბ., პეტროსიანი ა. რექტიული სიმძლავრის საკომპენსაციო მოწყობილობის მართვის ხერხი. საიდენტიფიკაციო № 12943/01, განაცხადის №2012 012943, განაცხადის შემოტანის თარიღი: 26/12/2012წ. (პატენტი).
2. Чунашвили Б.М., Кобаля М.И. Тугуши М.А., Петросян А.М. Позиционная система управления частотно-регулируемого электропривода маятниковых подвесных канатных дорог с промежуточными опорами. ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИЕ и КОМПЬЮТЕРНЫЕ СИСТЕМЫ. – Научно-технический журнал Одесского национального политехнического университета, №03 (79). 2011, ст. 161-162.
3. Чунашвили Б.М., Кобаля М.И., Петросян А.М., Церетели Результаты исследований динамических процессов системы управления асинхронного частотного электропривода маятниковых подвесных канатных дорог с промежуточными опорами. Электротехнические и электросберегающие системы. – Тематический выпуск «Проблемы автоматизированного электропривода. Теория и практика», №3/2012(19), Кременчук 2012, ст. 452-453.
4. Чунашвили Б.М., Кобаля М.И., Петросян А.М., Церетели Повышение энергетических показателей асинхронных многодвигательных электроприводов. Электротехнические и электросберегающие системы. – Тематический выпуск «Проблемы автоматизированного электропривода. Теория и практика», №3/2012(19), Кременчук 2012, ст. 225-226.