

შორენა ფხაკაძე

ელექტრული და ელექტრონული წრედების საფუძველზე
ჰიბრიდული ავტონომიური ელექტროენერგეტიკული
სისტემების პარალელური მუშაობის რეჟიმების
მართვა და ოპტიმიზაცია

წარდგენილია დოქტორის აკადემიური ხარისხის
მოსაპოვებლად

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი
თბილისი, 0175, საქართველო

ივნისი, 2013 წელი

საავტორო უფლება, © შორენა ფხაკაძე, 2013 წელი

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი
ენერგეტიკისა და ტელეკომუნიკაციის ფაკულტეტი

ჩვენ, ქვემოთ ხელისმომწერი ვადასტურებთ, რომ გავეცანით შორენა ფხაკაძის მიერ შესრულებულ სადისერტაციო ნაშრომს დასახელებით: „ელექტრული და ელექტრონული წრედების საფუძველზე ჰიბრიდული ავტონომიური ელექტროენერგეტიკული სისტემების პარალელური მუშაობის რეჟიმების მართვა და ოპტიმიზაცია“ და ვაძლევთ რეკომენდაციას საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის ენერგეტიკისა და ტელეკომუნიკაციის ფაკულტეტის სადისერტაციო საბჭოში მის განხილვას დოქტორის აკადემიური ხარისხის მოსაპოვებლად.

ხელმძღვანელი: _____ გ. კობრეიძე

რეცენზენტი: _____

რეცენზენტი: _____

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი
2013 წელი

ავტორი: ფხაკაძე შორენა
დასახელება: ელექტრული და ელექტრონული წრედების
საფუძველზე ჰიბრიდული ავტონომიური
ელექტროენერგეტიკული სისტემების პარალელური
მუშაობის რეჟიმების მართვა და ოპტიმიზაცია
ფაკულტეტი : ენერგეტიკისა და ტელეკომუნიკაციის
ხარისხი: დოქტორის
სხდომა ჩატარდა: ივნისი, 2013წ.

ინდივიდუალური პიროვნებების ან ინსტიტუტების მიერ ზემო
მოყვანილი 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
იმ მცირე ზომის ციტატებისა, რომლებიც მოითხოვენ მხოლოდ სპეციფიურ
მიმართებას ლიტერატურის ციტირებაში, როგორც ეს მიღებულია
სამეცნიერო ნაშრომების შესრულებისას) და ყველა მათგანზე იღებს
პასუხისმგებლობას.

რეზიუმე

სადოქტორო დისერტაციის ნაშრომში წარმოდგენილია თემის აქტუალობა; სამუშაოს მიზანი და კვლევის ამოცანები; კვლევის მეთოდები; ნაშრომის ძირითადი შედეგები და მეცნიერული სიახლე; შედეგების გამოყენების სფერო, პუბლიკაციები, სამუშაოს აპრობაცია და დისერტაციის სტრუქტურა. გაშუქებულია დისერტაციის შინაარსი, ნაჩვენებია შესავალში განხილული საკითხები.

პირველ თავში დამუშავებულია საკითხები: ენერჯის არატრადიციული და განახლებადი წყაროების გარდაქმნისა და გამოყენების ტექნოლოგია ელექტროენერგეტიკაში; არატრადიციული და განახლებადი ენერჯის წყაროების მდგომარეობისა და გამოყენების პერსპექტივები; ენერგორესურსების მარაგი, განახლებადი ენერჯის წყაროების მოხმარების სტრატეგიული მიზნები და განახლებადი ენერგეტიკის განვითარების როლი; მზის ენერჯის გარდაქმნის პროცესების ფიზიკური საფუძვლები; მზის გამოსხივების ინტენსიურობა; $P - n$ გადასვლის ფოტოელექტრული თვისება; მზის ელემენტის ვოლტ-ამპერული მახასიათებელი; მზის ელემენტების კონსტრუქციები და მასალები; ქარის ენერჯია და მისი გამოყენების შესაძლებლობები; ქარის წარმოშობა, საქართველოს ქარის ზონები; ქარის ძრავების კლასიფიკაცია მუშაობის პრინციპის მიხედვით; ქარის ძრავის ფრთის ზედაპირის მუშაობა მასზე ქარის ძალის ზემოქმედებისას; ტყვიამჭავიანი აკუმულატორული ბატარეის დამუხტვისა და განმუხტვის პროცესები ჰიბრიდული ელექტროენერგეტიკულ სისტემასთან პარალელური მუშაობის პირობებში; იმპულსური გარდამქმნელიანი ჰიბრიდული პარალელური ელექტროენერგეტიკული სისტემის განზოგადებული სტრუქტურული და პრინციპული ელექტრული სქემის დამუშავება.

დადგენილია არატრადიციული და განახლებადი ენერჯის წყაროების კლასიფიკაცია პირველადი ენერჯის წყაროების, ენერჯის ბუნებრივი გარდაქმნის, ენერჯის ტექნიკური გარდაქმნის და მეორადი მოხმარების ენერჯის მიხედვით.

წარმოდგენილია განათებისას $P - n$ გადასასვლელის ზონური ენერგეტიკული დიაგრამები მოკლე შერთვის, უქმი სვლის და დატვირთვის წინააღმდეგობაზე ჩართვის შემთხვევისათვის.

უქმი სვლის, მოკლე შერთვის და ოპტიმალური პარამეტრების გამოყენებით ლანგრაჟის ფორმულის ვოლტ-ამპერული მახასიათებლის ინტერპოლაციის შედეგად მიღებულია ვოლტ-ამპერული მახასიათებლის მათემატიკური მოდელი კვადრატული სამწევრის სახეში.

აკუმულატორული ბატარეის დამუხტვის და განმუხტვის ძაბვისა და დენის მიხედვით წარმოდგენილია ე.მ.ძალისა და შიგა წინააღმდეგობის საანგარიშო ფორმულები.

დამუშავებულია არატრადიციული და განახლებადი ენერჯის წყაროების მიღებისა და გამოყენების ტექნოლოგიები

ელექტროენერგეტიკაში და წარმოდგენილია შესაბამისი სტრუქტურული და პრინციპული საანგარიშო ელექტრული სქემები.

მეორე თავში დამუშავებულია საკითხები არატრადიციული და განახლებადი ენერჯის წყაროებიან მუდმივი და ერთფაზა ცვლადი დენის ავტონომიურ ჰიბრიდულ ელექტროსისტემებში ელექტრომაგნიტური გარდამავალი პროცესების მათემატიკური და კომპიუტერული მოდელირება; არატრადიციული და განახლებადი ენერჯის წყაროები საქართველოში; დამუშავებული სქემით წარმოდგენილია ჰიბრიდულ სისტემაში ელექტრომაგნიტური გარდამავალი პროცესების მათემატიკური და კომპიუტერული მოდელირება, აკუმულატორული ბატარეის დამუხტვა განმუხტვის პროცესების რეგულირება და გარდამავალი პროცესის მოდელის სტრუქტურული სქემების აგება; მუდმივი და ერთფაზა ცვლადი დენის ავტონომიურ ჰიბრიდული ენერჯოსისტემების პარალელური მუშაობის რეჟიმების მართვა იმპულსური გარდამქმნელების საშუალებით; შექმნილია მუდმივი და ცვლადი ძაბვის ენერჯოსისტემების გარდამქმნელი დანადგარით შეთანხმებული მუშაობის პრინციპული ელექტრული სქემა; დადგენილია წარმოდგენილი სქემის მოქმედების პრინციპი და ელექტრული სიდიდეების რეგულირებისა და მართვის საკითხები.

მიღებულია ინვერტორული და ტრანსფორმატორული სქემების პარამეტრების მიხედვით გარდამავალ პროცესებში ვენტილების ჩაკეტვის კუთხის ცვლილების კანონზომიერება.

აგებულია განახლებადი ენერჯის წყაროებიანი ავტონომიური ენერჯოსისტემის ერთფაზა ტრანსფორმატორის ძაბვებისა და დენების განზოგადებული ვექტორული დიაგრამა.

მესამე თავში დამუშავებულია საკითხები ჰიბრიდული ავტონომიური ელექტროენერგეტიკული სისტემების პარალელური მუშაობის დინამიური პროცესების მოდელირება, რეჟიმების მართვა და ოპტიმიზაცია;

შეიქმნა მზის ფოტოელექტრული სადგურისა, აკუმულატორული ბატარეისა და სამფაზა ცვლადი დენის ქსელის ერთობლივი მუშაობის ერთიანი სისტემა;

დადგენილია აღნიშნულ სისტემაში ელემენტების ერთობლივი მუშაობის ძირითადი თორმეტი რეჟიმი; ნაჩვენებია ამ რეჟიმების მართვა და რეგულირება;

შედგენილია ჰიბრიდული ავტონომიური ელექტროენერგეტიკული სისტემების პარალელური მუშაობის განზოგადებული კენტი და ლუწი რეჟიმების ელექტრული წონასწორობის განტოლებები ცვლადთა მყისა მნიშვნელობების მიმართ;

ჩატარებულია განტოლებათა სისტემის ამოხსნის პროცედურა და მიღებულია ცვლადთა მყისა მნიშვნელობების გამოსახულება როგორც გარდამავალ, ასევე დამყარებულ რეჟიმებისათვის დროის განზოგადებულ n ინტერვალებში;

შესრულებულია ჰიბრიდული ავტონომიური ელექტროენერგეტიკული პარალელური სისტემებში ელექტრომაგნიტური გარდამავალი პროცესების კომპიუტერული მოდელირება.

განხილულია ჰიბრიდული ავტონომიური ელექტროენერგეტიკული სისტემების პარალელური მუშაობისას გარდამავალი პროცესების მოდელის სტრუქტურული სქემის ელემენტების ძირითადი თვისებები;

შედგენილია გარდამავალი პროცესების კომპიუტერული მოდელის სტრუქტურული სქემები კენტი და ლუწი რეჟიმების განზოგადებული დროის ინტერვალებში;

ჩატარებულია ჰიბრიდული ავტონომიური ელექტროენერგეტიკული დინამიური სისტემების ცვლადთა მდგომარეობის მატრიცული განტოლებების რიცხვითი ამოხსნა დროის არეში კენტი და ლუწი რეჟიმების განზოგადებულ ინტერვალებში.

ჩატარებულია ჰიბრიდული ავტონომიური ელექტროენერგეტიკული და პარალელური სისტემის მუშაობის რეჟიმების ოპტიმიზაცია და შესწავლილია ერთიანი სისტემის მდგრადობა. აგებულია სისტემის ამპლიტუდურ-ფაზურ-სიხშირული მახასიათებლები კენტი და ლუწი განზოგადებული რეჟიმებისათვის.

წარმოდგენილია დისერტაციის თემაზე ავტორის მიერ გამოქვეყნებული ძირითადი ნაშრომების სია და წარმოჩენილია ავტორის პირადი წვლილი დისერტაციის ნაშრომის შესრულებაზე.

Summary

There are presented in doctoral dissertation the following parts: topicality of research; goal and object of research; methods of research; main results and novelty of research; area of potential use of research results; publications; approbation of work and structure of dissertation. There is presented the content of dissertation and shown the issues considered in introduction part.

The following issues are considered in Chapter 1: non-traditional and renewable energy sources conversion and using technologies in power industry; current state and perspectives for use of non-traditional and renewable energy sources; reserves of energy recourses; strategic objectives of the use of renewable energy sources and the role of the development of renewable energy sources; physical basis of solar energy conversion processes; solar radiation intensity; photovoltaic properties of $P - n$ junction; volt-ampere characteristics of solar batteries; solar batteries designs and materials; wind energy and possibilities for its use; wind generation; wind zones of Georgia; classification of wind motors by operational principles; operation of wind motor blade surface under the impact of wind power; lead-acid battery's charging and discharging processes under conditions of parallel operation with hybrid power supply system; development of generic structural and schematic electric circuits of impulse converter hybrid parallel power supply system.

There is established the classification of non-traditional and renewable energy sources by primary energy sources, natural conversion of energy, technical conversion of energy and secondary energy consumption.

There are presented the zone electric power diagrams of $P - n$ junction during lightening for cases with short circuit, off-load and switching on load resistance.

By using the off-load, short circuit and optimal parameters, as a result of interpolation of Lagrange formula's volt-ampere characteristic, there is obtained the mathematical model of volt-ampere characteristic in the form of quadratic trinomial.

By charging and discharging voltage and current of battery, there are presented the so-called force and internal resistance calculation formulas.

There are developed the technologies of obtaining and using of non-traditional and renewable energy sources in power industry and presented the appropriate structural and schematic electric circuits.

Chapter 2 refers to the issues of mathematical and computer modeling of electromagnetic transient processes in autonomous hybrid power supply systems of direct and single-phase alternative currents of non-traditional and renewable energy sources; non-traditional and renewable energy sources in Georgia; by means of developed scheme there are shown the mathematical and computer modeling of electromagnetic transient processes in hybrid power system, regulation of the battery charging and discharging processes and construction of

structural schemes of transient processes; controlling of autonomous hybrid power supply systems of direct and single-phase alternative currents by means of pulse converters; there is created the electric network of operation regulated by converting device of direct and alternative voltage power systems; there are defined the operation principle and electric quantities regulation and control issues.

There are determined the regularities of rectifier stitching-in angle in transient processes by inverter transformer circuits.

There is designed the generalized vector diagram of single-phase transformer voltages and currents in autonomous power systems of renewable energy sources.

In Chapter 3 there are considered the issues related to the modeling of parallel operation dynamic processes of hybrid autonomous power supply systems.

There is created the uniform system of solar photovoltaic power plant, accumulator battery and three-phase alternative current network.

There are established the main twelve joint operation modes of elements in the mentioned system; the regulation and control of these systems are shown as well.

There is set up the electric state equation of generic even and uneven parallel operation modes of hybrid autonomous power supply systems towards instantaneous values of variables.

There is carried out the procedure for solution of equation system and obtained the expression of variables instantaneous values as for transient, so for steady modes within the generic time n intervals.

There is carried out the computer modeling of electromagnetic transient processes in hybrid parallel power supply systems.

There are considered the major properties of the structural scheme elements of the model of transient processes during operation of hybrid autonomous power supply systems.

There are designed the structural schemes of the computer-based model of hybrid autonomous power supply systems within generic time intervals of even and uneven modes.

There is executed the numerical solution of variables state matrix equations of the dynamic systems of hybrid autonomous power supply systems.

There is carried out the optimization of hybrid autonomous power supply systems operation modes and studied the federated system's sustainability. There are designed the amplitude-phase-frequency characteristics for even and uneven generic modes.

There is presented the list of author's publications related to the background of this dissertation, and shown the author's contribution to execution of the dissertation part of this research.

შინაარსი

შესავალი.	15
ლიტერატურის მიმოხილვა.	21
შედეგები და მათი განსჯა.	30
თავი 1. ენერჯის არატრადიციული და განახლებადი წყაროების გარდაქმნისა და გამოყენების ტექნოლოგია ელექტროენერგეტიკაში.	30
1.1. არატრადიციული და განახლებადი ენერჯის წყაროების მდგომარეობა და გამოყენების პერსპექტივები.	30
1.1.1. ენერგორესურსების მარაგი, განახლებადი ენერჯის წყაროების მოხმარების სტრატეგიული მიზნები და განახლებადი ენერგეტიკის განვითარების როლი. . .	32
1.2. მზის ენერჯის გარდაქმნის პროცესების ფიზიკური საფუძვლები.	33
1.2.1. მზის გამოსხივების ინტენსიურობა.	33
1.2.2. $P - n$ გადასვლის ფოტოელექტრული თვისება.	35
1.3. მზის ელემენტის ვოლტ-ამპერული მახასიათებელი. .	39
1.4. მზის ემემენტების კონსტრუქციები და მასალები. . .	44
1.5. ქარის ენერჯია და მისი გამოყენების შესაძლებლობები	47
1.5.1. ქარის წარმოშობა, საქართველოს ქარის ზონები. . . .	47
1.5.2. ქარის ძრავების კლასიფიკაცია მუშაობის პრინციპის მიხედვით.	50
1.5.3. ქარის ძრავის ფრთის ზედაპირის მუშაობა ქარის ძალის ზემოქმედებისას.	51
1.6. ტყვია-მჟავიანი აკუმულატორული ბატარეის დამუხტვისა და განმუხტვის პროცესები ჰიბრიდულ ელექტროენერგეტიკულ სისტემასთან პარალელური მუშაობის პირობებში.	52
1.7. იმპულსურ გარდამქნელიან ჰიბრიდულ პარალელური ელექტროენერგეტიკული სისტემის განზოგადებული სტრუქტურული და პრინციპული ელექტრული სქემების დამუშავება.	56
თავი 2. არატრადიციული და განახლებადი ენერჯის წყაროებიან მუდმივი და ერთფაზა ცვლადი დენის ავტონომიურ ჰიბრიდულ ელექტროსისტემაში ელექტრომაგნიტური გარდამავალი პროცესების მათემატიკური და კომპიუტერული მოდელირება . .	64
2.1. არატრადიციული და განახლებადი ენერჯის წყაროები საქართველოში.	64

2.2.	ნახ.6-ბ სქემით წარმოდგენილ ჰიბრიდულ სისტემაში ელექტრომაგნიტური გარდამავალი პროცესების მათემატიკური მოდელირება და აკუმულატორული ბატარეის დამუხტვა-განმუხტვის პროცესების რეგულირება.	65
2.3.	ნახ.6-ბ სქემით წარმოდგენილ ჰიბრიდულ სისტემაში ელექტრომაგნიტური გარდამავალი პროცესების მოდელის სტრუქტურული სქემის აგება.	74
2.4.	განახლებადი ენერჯის წყაროებიან მუდმივი და ერთფაზა ცვლადი დენის ავტონომიურ ჰიბრიდული ენერგოსისტემის პარალელური მუშაობის რეჟიმების მართვა იმპულსური გარდამქმნელების საშუალებით.	84
თავი 3.	ჰიბრიდულ ავტონომიური ელექტროენერგეტიკული სისტემების პარალელური მუშაობის დინამიური პროცესების მოდელირება, რეჟიმების მართვა და ოპტიმიზაცია.	91
3.1.	მზის ფოტოელექტრული სადგურისა, აკუმულატორული ბატარეისა და სამფაზა ცვლადი დენის ქსელის ერთობლივი მუშაობის ერთიანი სისტემა. . .	91
3.2.	მზის ფოტოელექტრული სადგურისა, მუდმივი დენის გარდამქმნელისა, ქსელის მიმყოლი სამფაზა ძაბვის ინვერტორისა და სამფაზა ცვლადი დენის ქსელის ერთობლივი მუშაობის ძირითადი რეჟიმები.	97
3.3.	ჰიბრიდულ ავტონომიური ელექტროენერგეტიკული სისტემების პარალელური მუშაობის კენტი და ლუწი რეჟიმების ელექტრული წონასწორობის განტოლებები.. . . .	102
3.4.	ჰიბრიდული ავტონომიური ელექტროენერგეტიკული სისტემების ელექტრული წონასწორობის განტოლებების ამოხსნა.	106
3.5.	ჰიბრიდულ ავტონომიური ელექტროენერგეტიკული პარალელურ სისტემებში ელექტრომაგნიტური გარდამავალი პროცესების კომპიუტერული მოდელირება.	113
3.6.	ჰიბრიდულ ავტონომიური ელექტროენერგეტიკული დინამიური სისტემების ცვლადთა მდგომარეობის მატრიცული განტოლებების რიცხვითი ამოხსნა დროის არეში.	125
ა)	პარალელური მუშაობის კენტი რეჟიმების განზოგადებული $2(n-1)\frac{\pi}{6\omega} \leq t_{2n-1} \leq (2n-1)\frac{\pi}{6\omega}$ ინტერვალებისათვის	125

ბ)	პარალელური მუშაობის ლუწი რეჟიმების განზოგადებული $(2n - 1) \frac{\pi}{6\omega} \leq t_{2n} \leq 2n \frac{\pi}{6\omega}$ ინტერვალებისათვის.	130
3.7.	ჰიბრიდულ ავტონომიური ელექტროენერგეტიკული პარალელური სისტემების მუშაობის რეჟიმების ოპტიმიზაცია და მდგრადობის გამოკვლევა.	132
	დასკვნა	139
	გამოყენებული ლიტერატურა.	142

ცხრილების ნუსხა

ცხრილი 1.	არატრადიციული და განახლებადი ენერჯის წყარო- ების კლასიფიკაცია.	31
ცხრილი 2.	ამპლიტუდურ-ფაზურ-სიხშირული მახასიათებლები კენტი და ლუწი რჟიმების შემთხვევაში.	137

ნახაზების ნუსხა

ნახ.1.	უმარტივესი მზის ელემენტის კონსტრუქცია.	35
ნახ.2.	განათებისას $P - n$ გადასასვლელის ზონური ენერგეტიკული დიაგრამები: ა) მოკლე შერთვის რეჟიმში; ბ) უქმი სვლის რეჟიმში; გ) დატვირთვის წინააღმდეგ ჩართვა.	36
ნახ.3.	მზის ელემენტის შენაცვლების ელექტრული სქემა.	39
ნახ.4.	მზის ელემენტის ვოლტ-ამპერული მახასითებელი.	43
ნახ.5.	თანამედროვე ჰიბრიდული პარალელური ენერგოსისტემის განზოგადებული სტრუქტურული სქემა.	58
ნახ.6.	განახლებადი ენერგიის წყაროების ბაზაზე მუდმივი და ცვლადი ძაბვის პარალელური ჰიბრიდული ენერგოსისტემა: ა) სამფაზა სტრუქტურული ბლოკ-სქემა ბ)ერთფაზა პრინციპული ელექტრული სქემა.	59
ნახ.7.	იმპულსური გარდამქმნელიანი მუდმივი და ცვლადი დენის ერთფაზა ძაბვის ჰიბრიდული პარალელური ენერგოსისტემების პრინციპული ელექტრული სქემა.	60
ნახ.8.	გამტარ მდგომარეობაში მყოფი ნახევარგამტარული ხელსაწყოების დენებისა და მუდმივი ძაბვის ქსელში u ძაბვის დიაგრამები.	61
ნახ.9.	იმპულსური გარდამქმნელის კომუტაციის პროცესში დენების დიაგრამა დემპფერული პროცესების გაუთვალისწინებლად.	62
ნახ.10.	განახლებადი ენერგიის წყაროებიანი ავტონომიური ენერგოსისტემის პრინციპული ელექტრული სქემა.	63
ნახ.11.	განახლებადი ენერგიის წყაროებიანი ავტონომიური ენერგოსისტემის ერთფაზა ტრანსფორმატორის ძაბვებისა და დენების განზოგადებული ვექტორული დიაგრამა.	74
ნახ.12.	ალგებრული და ინტეგრალური განტოლებების შესაბამისი ცალკეული სტრუქტურული მოდელები და $\phi(t)$ კომუტაციური ფუნქციის ფორმირების ბლოკ-სქემა.	80
ნახ.13.	ჰიბრიდული ენერგოსისტემის ელექტრომაგნიტური გარდამავალი პროცესების მათემატიკური და კომპიუტერული მოდელის სტრუქტურული სქემა.	82
ნახ.14.	(114), (117-119) და (89) გამოსახულებების საფუძველზე ჰიბრიდული ენერგოსისტემის $u(t)$ ძაბვის და $I_{01}, I_{02}, I_{03}, I_{04}$ დენების განსაზღვრის მათემატიკური და კომპიუტერული მოდელის სტრუქტურული სქემა.	83
ნახ.15.	მუდმივი ცვლადი ძაბვის ენერგოსისტემის გარდამქმნელი დანადგარით შეთანხმებული მუშაობის პრინციპული ელექტრული სქემა.	86

ნახ.16.	ჰიბრიდულ ავტონომიური ელექტროენერგეტიკული სისტემის პარალელური მუშაობის ამსახველი სტრუქტურული და პრინციპული ელექტრული სქემა.	93
ნახ.17.	ერთიანი გარდამქმნელი სისტემის ფოტოელექტრული სადგურის გამომავალი U_{dc} ძაბვის, მართვის იმპულსების, კომუტაციური ფუნქციების და სამფაზა ცვლადი ქსელის ძაბვის დროზე დამოკიდებულების კანონზომიერება.	98
ნახ.18.	ჰიბრიდულ ავტონომიური ელექტროენერგეტიკული სისტემის პარალელური მუშაობის კენტი და ლუწი რეჟიმების საანგარიშო პრინციპული ელექტრული სქემა. . . .	100
ნახ.19.	სტრუქტურული სქემის ელემენტების ძირითადი თვისებები.	122
ნახ.20.	გარდამავალი პროცესების კომპიუტერული მოდელის სტრუქტურული სქემა კენტი რეჟიმების განზოგადებულ $2(n-1)\frac{\pi}{6\omega} \leq t_{2n-1} \leq (2n-1)\frac{\pi}{6\omega}$ დროის ინტერვალებში. . . .	123
ნახ.21.	გარდამავალი პროცესების კომპიუტერული მოდელის სტრუქტურული სქემა ლუწი რეჟიმების განზოგადებულ $(2n-1)\frac{\pi}{6\omega} \leq t_{2n} \leq 2n\frac{\pi}{6\omega}$, $n = 1,2,3,\dots$; $K = A,B,C$. დროის ინტერვალებში.	124
ნახ.22.	ჰიბრიდული ავტონომიური ელექტროენერგეტიკული პარალელური სისტემის გადაცემის ფუნქციის ამპლიტუდურ-ფაზურ-სიხშირული მახასიათებლები, შესაბამისად $2n-1$ კენტი და $2n$ ლუწი ინტერვალებისათვის	137

შესავალი

არატრადიციული და განახლებადი ენერჯის წყაროებს განეკუთვნება მზის, ქარის, გეოთერმული, ზღვის ტალღების, ოკეანეების მიმოქცევის, ბიომასის, ნახშირის, ტორფის, დიდი და მცირე წყლის ნაკადების ენერჯები.

უკანასკნელ პერიოდში გაზრდილია ინტერესი არატრადიციული და განახლებადი ენერჯის წყაროების მიღებისა და გამოყენების ტექნოლოგიების მიმართ. საქართველოში დიდი მნიშვნელობა ენიჭება მზის და ქარის ენერჯების ელექტრული ენერჯად გარდაქმნისა და გამოყენების ტექნოლოგიებს.

მონოკრისტალური კაშხადის საფუძველზე სტრუქტურების წარმოება ტექნოლოგიურად რთული და ძვირადღირებული პროცესია. ამიტომ ყურადღება მიექცა ისეთი მასალების წარმოებას როგორებიცაა ამორფული კაშხადის საფუძველზე შენადნობები-კალიუმის არსენიდი და მრავალკრისტალური ნახევარგამტარები. ამორფული კაშხადი აღმოჩნდა უფრო იაფი ალტერნატიული სახე, ვიდრე მონოკრისტალური კაშხადი. არ არის გამორიცხული, რომ ტექნოლოგიების განვითარების გამო ამორფული კაშხადის საფუძველზე დამზადებული მზის ელემენტების მარჯიქმედების კოეფიციენტი მიაღწევს 16%-ს.

მრავალკრისტალური თხელი ფენები ძალიან პერსპექტიულია მზის ენერჯეტიკისათვის. ამ მასალების სისქის პირველ მიკრონში წარმოებს სინათლის 99%-ის შთანთქმა და მათი აკრძალვის ზონაა 1,0 ევ.

კადმიუმის ტელურიდი-კიდევ ერთი პერსპექტიული მასალაა ფოტოელექტრული ელემენტებისათვის. მათ დახლოებით იდეალური აკრძალული ზონის სიგანე აქვთ 1,44 ევ და ძალიან დიდი უნარი აქვთ გამოსხივების შთანთქმისათვის. ასეთი ფენები საკმაოდ იაფია დამზადებისათვის.

საქართველოში მზის ფოტოელექტრული ენერჯის პარალელურად დიდი მნიშვნელობა ენიჭება ქარის ენერჯის გამოყენების

შესაძლებლობებს. ქარის საშუალო წლიური სიჩქარის დამაკმაყოფილებელი მნიშვნელობა მოცემულ რაიონში იძლევა საშუალებას წარიმართოს მსჯელობა ქარის გენერატორების გამოყენების მიზანშეწონილობაზე და შესაბამისი აგრეგატების ეფექტურობაზე.

დღეისათვის ქარის ელექტროსადგურებში, როგორც წესი, გამოიყენება ძირითადად ასინქრონული გენერატორები. ქარის ელექტროსადგურების პარალელური მუშაობისას ასინქრონული გენერატორების უპირატესობად ითვლება ელექტრომაგნიტური მომენტის, დენის და გენერირებული სიმძლავრის შედარებით მცირე რხევები ქარის სიჩქარის ცვლილებათა პირობებში. საქართველოში ქარის ელექტროსადგურების აშენება პერსპექტიულია სამხრეთ საქართველოს მთიანეთში, კახაბრის ვაკისა და კოლხეთის დაბლობის ცენტრალურ ნაწილში.

ჰიბრიდული პარალელური ენერგოსისტემების ელექტრომომარაგების მდგრადი და სტაბილური რეჟიმების უზრუნველსაყოფად საჭიროა ტყვია-მჟავიანი აკუმულატორების გამოყენება, რომლებისთვისაც თანმხლებია მუდმივად დამუხტვისა და განმუხტვის პროცესები. ასეთი პროცესები მიმდინარეობს კონტროლიორის, სიმძლავრის რეგულატორის და შესაბამისი მართვის იმპულსების ზემოქმედებით.

სადისერტაციო ნაშრომში განსაზღვრულია აკუმულატორული ბატარეის ელექტრომომარაგებელი ძალა (ე.მ.ძ) და შიგა წინაღობაზე, როგორც ფუნქცია განმუხტვის ხანგრძლივობისა, დამუხტვის და განმუხტვის ძაბვისა და დენის მნიშვნელობებისა.

აკუმულატორები ხასიათდებიან ორი მ.ქ.კ-ით:

ა) ტევადობის გაცემის მიხედვით - $\eta_E = 0,85 \div 0,95$,

ბ) ენერგიის გაცემის მიხედვით - $\eta_w = 0,75 \div 0,8$,

სადისერტაციო ნაშრომში სიახლედ უნდა ჩაითვალოს ის, რომ მიღებულია მზის ელემენტის ვოლტ-ამპერული მახასიათებლის განტოლება უქმი სვლის, მოკლე შერთვის პარამეტრებისა და ოპტიმალური პარამეტრების მიხედვით. მიღებული ვოლტ-ამპერული მახასიათებელი

წარმოადგენს კვადრატულ სამწევრს, რომელიც ცალსახად აკავშირებს ელემენტის გამოსავალ ძაბვას მასში გამავალ დენთან.

მზის, ქარის, დიზელგენერატორების და აკუმულატორული ბატარეის ენერჯიების ერთდროული ან სელექციური გზით გამოყენება წარმოადგენს ძირითად საფუძვლებს მუდმივი და ცვლადი ძაბვის ჰიბრიდული ენერგოსისტემის განვითარებისათვის.

სადისერტაციო ნაშრომში წარმოდგენილია დამუშავებული ჰიბრიდული პარალელური ენერგოსისტემის განზოგადებული თანამედროვე პერსპექტიული სტრუქტურული სქემა. იგი შედგება ფოტოელექტრული გარდამქმნელისაგან, მართვადი საკომუტაციო უკონტაქტო აპარატებისაგან; ქარის გენერატორისაგან; აკუმულატორული ბატარეისაგან; ცვლადი ძაბვის მუდმივ ძაბვად გარდაქმნისაგან; სამფაზა ცვლადი დენის გამმართველისაგან; სამფაზა ძალოვანი ტრანსფორმატორისაგან; მართვის სისტემისაგან; მუდმივი და ცვლადი დენის დატვირთვისაგან და მუდმივი და ცვლადი ძაბვის ქსელისაგან.

მზის ელემენტებისა და აკუმულატორული ბატარეის სელექციურობის მიზნით შექმნილია და გამოყენებულია ტრანზისტორული მოდულებისგან აწყობილი იმპულსური გარდამქმნელი სქემა. ამ სქემის საფუძველზე წარმოებს აკუმულატორული ბატარეის დამუხტვა-განმუხტვის პროცესების მართვა და რეგულირება.

არატრადიციული და განახლებადი ენერჯიის წყაროებიან მუდმივი და ერთფაზა ცვლადი დენის ავტონომიურ ჰიბრიდულ ელექტროსისტემაში ჩატარებულია ელექტრომაგნიტური გარდამავალი პროცესების მათემატიკური და კომპიუტერული მოდელირება. მიღებულია ცვლადების გამოსახულებები, როგორც დროის ფუნქცია გამოხატული ექვივალენტური პარამეტრების მეშვეობით. მიღებულია გაერთიანებულ სისტემაში შემავალი ავტონომიური ინვერტორის დატვირთვის ძაბვის ამპლიტუდური მომვლების და ფაზური ფუნქციის ანალიზური გამოსახულებები. განსაზღვრულია ერთფაზა ძალოვანი ტრანსფორმატორის სიმძლავრის

დინამიური კოეფიციენტის გამოსახულება, რომელშიც ფუნქციონირებს ექვივალენტური პარამეტრები.

ფაზური ფუნქცია შესაბამის გამოსახულებებში განსაზღვრავს ერთფაზა ძალურ ტრანსფორმატორში ძაბვისა და დენის ნულზე გადასვლის წერტილებს შორის დროის მონაკვეთს. შესაბამისად, ფაზური ფუნქცია გამომავალი დენის ნულზე გადასვლის წერტილებში განსაზღვრავს ვენტილების ჩაკეტვის კუთხეებს; ამის გამო ფაზური ფუნქცია წარმოადგენს სქემაში შემავალი ვენტილების ჩაკეტვის კუთხის დისკრეტული მნიშვნელობების მომვლეს. ამგვარად, ინვერტორული და ტრანსფორმატორული სქემების ექვივალენტური პარამეტრების განსაზღვრის შემდეგ მიღებული გამოსახულებების საფუძველზე შესაძლებელი გახდა გარდამავალ პროცესებში ვენტილების ჩაკეტვის კუთხის ცვლილების ხასიათის დადგენა. შესაბამისად დადგინდა, რომ მოცემული პარამეტრების შემთხვევაში გარდამავალ პროცესში ნახევარგამტარული გარდამქმნელების მუშაობა მდგრადია.

სადისერტაციო ნაშრომში დადგენილია პირობა, რომლის შესრულების შემთხვევაში განხილულ ენერგოსისტემაში აკუმულატორული ბატარეის დამუხტვის პროცესი მთავრდება და მუდმივი და ცვლადი დენის წრედში ენერგიის გადასაცემად განმუხტვის პროცესი იწყება.

ნაშრომში აგებულია განახლებადი ენერგიის წყაროებიანი ავტონომიური ენერგოსისტემის ერთფაზა ტრანსფორმატორის ძაბვებისა და დენების განზოგადებული ვექტორული დიაგრამა.

წარმოდგენილ ჰიბრიდულ სისტემაში ჩატარებულია ელექტრომაგნიტური გარდამავალი პროცესების კომპიუტერული მოდელირება და აგებულია თითოეული ცვლადების გარდამავალი პროცესის მოდელის სტრუქტურული სქემები.

მათემატიკური მოდელის შედეგად მიღებული იქნა ცვლადების ინტეგრალური გამოსახულებები, რომლებიც შეთავსებადია გამოთვლითი ტექნიკის ტექნოლოგიებთან.

შექმნილია მუდმივი და ცვლადი ძაბვის ენერგოსისტემის გარდამქმნელი დანადგარებით შეთანხმებული მუშაობის პრინციპული ელექტრული სქემა. ამ სქემაში გათვალისწინებულია სელექციურობის მიზნით იმპულსური გადამრთველი წრედი და ავტონომიური ინვერტორის გამოსავალი ძაბვის რეგულირებისათვის მოდულაციური წრედი ტრანზისტორული მოდულების ბაზაზე.

სადისერტაციო ნაშრომში ჩატარებულია ჰიბრიდული ავტონომიური მუშაობის დინამიური პროცესების მოდელირება, რეჟიმების მართვა და ოპტიმიზაცია.

შექმნილია მზის ფოტოელექტრული სადგურისა, აკუმულატორული ბატარეისა და სამფაზა ცვლადი დენის ქსელის ერთობლივი მუშაობის ერთიანი სისტემა.

დადგენილია აღნიშნული ერთიანი სისტემაში მუშაობის თორმეტი რეჟიმი. ეს რეჟიმები დაყოფილია განზოგადებულ კენტ და ლუწ რეჟიმებად. შესაბამისად შემოღებულია განზოგადებული დროის საანგარიშო ინტერვალები.

განსაზღვრულია ერთიან სისტემაში ელექტრული სიდიდეების, მართვის იმპულსების, კომუტაციური ფუნქციების და სამფაზა ცვლადი ქსელის ძაბვის დროზე დამოკიდებულების კანონზომიერება.

შექმნილია ჰიბრიდულ ავტონომიური ელექტროენერგეტიკული სისტემების პარალელური მუშაობის კენტი და ლუწი რეჟიმების საანგარიშო პრინციპული ელექტრული სქემა.

შედგენილია შესაბამისი რეჟიმების ელექტრული წონასწორობის და ცვლადთა მდგომარეობის განტოლებები მზის ელემენტის ვოლტ-ამპერული მახასიათებლის განტოლების გათვალისწინებით.

დამუშავებულია შედგენილი განტოლებების ამოხსნის მეთოდოლოგია და მიღებულია შესაბამისი ცვლადების ინტეგრალური გამოსახულებები, რამაც საშუალება მოგვცა ჩატარებული ყოფილიყო პროცესების კომპიუტერული მოდელირება. შესაბამისად აგებული იქნა ცვლადების

გარდამავალი პროცესების მოდელის სტრუქტურული სქემა, განზოგადებულ კენტ და ლუწ ინტერვალებისათვის. განსაზღვრულია განზოგადებული დროის ინტერვალებიდან იმ n - ინტერვალის რიგითი ნომერი, რომლის დროსაც სისტემაში პროცესები მყარდება.

მიღებულია მატრიცულ ფორმაში ცვლადების ინტეგრალური გამოსახულებები, რომლის საფუძველზე შედგენილია სხვაობითი განტოლებები. მათი ამოხსნის შედეგად მიღებულია კომპიუტერულ ტექნოლოგიებთან შეთავსებადი ცვლადების განზოგადებული საანგარიშო გამოსახულებები კენტ და ლუწ რეჟიმებისათვის.

დადგენილია ცვლადების გარდამავალი პროცესების მოდელის სტრუქტურული სქემის ელემენტების ძირითადი თვისებები.

მიღებულია მოცემული მატრიცული განტოლების ზუსტი ამონახსნები განზოგადებული კენტი და ლუწი რეჟიმების ინტერვალებისათვის შებამისი საწყისი პირობების გათვალისწინებით,

იმისათვის რომ მიღებული შედეგები შეთავსებადი ყოფილიყო კომპიუტერულ ტექნოლოგიებთან რიცხვითი მეთოდით გაანგარიშებისათვის საჭირო გახდა შედეგები წარმოდგენილი ყოფილიყო რეკურენტური ფორმულის სახით, რაც კომფაქტურ ფორმაში ჩატარდა განზოგადებული კენტ და ლუწ რეჟიმებისათვის.

ჩატარებულია ჰიბრიდულ ავტონომიური ელექტროენერგეტიკული პარალელური სისტემის მუშაობის რეჟიმების ოპტიმიზაცია და მდგრადობის გამოკვლევა. მიღებული იქნა დენის მიხედვით ერთიანი გარდამქმნელი სისტემის გადაცემის ფუნქცია, აგებული იქნა ამპლიტუდურ - ფაზურ - სიხშირული მახასიათებლები, რამაც გვიჩვენა, რომ ერთიანი სისტემა მუშაობის ნებისმიერ რეჟიმებში მდგრადია.

1. ლიტერატურის მიმოხილვა

მოცემულია ნავთობისა და ბუნებრივი აირის მარაგის ამოწურვის შემდეგ ნახშირისა და ბირთვული საწვავის გამოყენების შედეგად გარემოზე მათი შესაძლო უარყოფითი ზემოქმედებები. დამუშავებულია არატრადიციული და განახლებადი ენერჯის წყაროების ბაზაზე სუფთა ეკოლოგიური ფოტოელექტრული გარდამქმნელების გამოყენების ტექნოლოგიები ელექტროენერგეტიკაში. მოცემულია მზის ელემენტის შენაცვლების სქემა და მისი ვოლტ-ამპერული მახასიათებლის გამოსახულება ექსპონენციალურ სახეში [1].

წიგნში განზოგადებულია და სისტემატიზირებულია ფოტოელექტრული მეთოდით მზის ენერჯის ელექტრულ ენერჯიაში გარდაქმნის საკითხები. მოცემულია გარდაქმნის ფიზიკური საფუძვლები. წარმოდგენილია მზის ელემენტების სხვადასხვა მახასიათებლები [2].

წარმოდგენილია მუდმივი და ცვლადი ძაბვის ენერჯოსისტემების გარდამქმნელი დანადგარით შეთანხმებული მუშაობის პრინციპული ელექტრული სქემა. აგებულია გამტარმდგომარეობაში მყოფი ნახევარგამტარული ხელსაწყოების დენებისა და მუდმივი ძაბვის ქსელში ძაბვის დიაგრამები [3].

სამეცნიერო-ტექნიკური ინფორმაციათა საკავშირო ინსტიტუტის ჰელიოენერგეტიკის სერიაში წარმოდგენილ სამეცნიერო ნაშრომში: „მზის ელექტრული სადგურები“ მოცემულია მზის ელექტროსადგურის ოპტიკური სისტემები, მზის ელექტროსადგურის პარამეტრების ოპტიმიზაცია და მუშაობის მათემატიკური მოდელირების საკითხები [4].

განხილულია ნახევარგამტარ მზის ელემენტებში მიმდინარე ძირითადი ფიზიკური პროცესები მზის ენერჯის ელექტრულ ენერჯიად გარდაქმნისას. წარმოდგენილია კაჟბადისა და არსენიდ-გალიუმის მასალებზე შექმნილი ელემენტების პარამეტრების ოპტიმიზაციის საკითხები. მოცემულია მზის ელემენტების სხვადასხვა მოდელების

განსაკუთრებულობის ანალიზი. მოყვანილია ექსპერიმენტის შედეგები მაღალი მ.კ.კ.-ის მქონე ელემენტების მიღების მიზნით [5].

მონოგრაფიაში მოცემულია მზის ელემენტებისა და ბატარეის შექმნის ფიზიკური საფუძვლები, აგებულია ძირითადი მახასიათებლები და გაანგარიშებულია ვოლტ-ამპერული მახასიათებლების ექვივალენტური პარამეტრები. განხილულია მზის ბატარეის პროექტირების საკითხები. დამუშავებულია მზის ელემენტებისა და ბატარეის შეერთების სახეები ძაბვის რეგულირებისათვის[6].

წიგნში აღწერილია მოწყობილობები, რომლებიც საშუალებას იძლევიან გამოყენებული იქნას მზის ენერგია ფოტოელექტრული გარდაქმნელების საშუალებით საყოფაცხოვრებო სფეროში[7].

სტატიაში წარმოდგენილია მუდმივი და ერთფაზა ცვლადი ძაბვის ელექტროენერგეტიკული პარალელური ჰიბრიდული სისტემების პრინციპული ელექტრული სქემა. ჩატარებულია პროცესების ანალიზი. მიღებულია ტრანსფორმატორის დინამიური სიმძლავრის კოეფიციენტის გამოსახულება და დადგენილია ექვივალენტური პარამეტრები[8].

განახლებადი ენერგიის წყაროებიან ავტონომიურ ენერგოსისტემაში ელექტრომაგნიტური გარდამავალი პროცესების მათემატიკური მოდელირება მუდმივი დენის გარდაქმნელის მოდულაციური წრედის გათვალისწინებით მოცემულია სტატიაში[9].

მზის ფოტოელექტრული სადგურისა და ცვლადი დენის ქსელის ერთობლივი მუშაობისას პროცესების მართვა და რეგულირება წარმოდგენილია სამეცნიერო სტატიებში[10,12].

განახლებადი ენერგიის წყაროებიან ჰიბრიდული პარალელური ენერგოსისტემის ერთობლივი მუშაობის რეჟიმების ოპტიმიზაცია ჩატარებულია ხელნაწერის უფლებით სამეცნიერო ნაშრომში[13].

მზის ფოტოელექტრული სადგურისა და სამფაზა ცვლადი დენის ქსელის ერთობლივი მუშაობა, პროცესების მართვა და რეგულირება წარმოდგენილია ხელნაწერის უფლებით სამეცნიერო ნაშრომში[14].

ენერჯის არატრადიციული და განახლებადი წყაროების გარდაქმნისა და გამოყენების ტექნოლოგიები ელექტროენერჯეტიკაში წარმოდგენილია ხელნაწერის უფლებით სამეცნიერო ნაშრომში[15].

წარმოდგენილია მზის ენერჯის ელექტრული და ქიმიურ ენერჯიაში გარდაქმნის მეთოდის საფუძვლები ნახევარგამტარ ელექტროდებიან ფოტოელექტრულ ელემენტებში. მოცემულია მზის გარდამქმნელების განვითარების პერსპექტივები[16].

წიგნში განხილულია ქარის ენერჯეტიკის არსებული მდგომარეობა და განვითარების პერსპექტივები. ჩატარებულია ქარის ენერჯეტიკის რესურსების შეფასება. მოყვანილია ენერჯოსისტემაში ქარის ენერჯის გამოყენების აუცილებლობა და მიზან შეწონილობა [17].

სახელმძღვანელოში მოცემულია ქარის ენერჯეტიკული რესურსები, ქარის ელექტრული დანადგარის მუშაობის პრინციპები, ქარის დანადგარების ტიპები, ქარის აგრეგატების მიერ წლიური ელექტროენერჯის გამომუშავების მიახლოებითი ანგარიშის მეთოდები [18].

დამხმარე სახელმძღვანელოში მოცემულია მოწყობილობათა ელემენტები, დატვირთვები, მათი საანგარიშო ვარიანტები და ურთიერთ შერწყმები. განსაზღვრულია მუდმივი და დროითი დატვირთვები ქარის ელექტროდანადგარების ელემენტებზე, მის ფუნდამენტზე და საფუძველზე. განხილულია გაანგარიშების მაგალითები[19].

მუდმივი დენის ძრავის გაშვებისა და წევის რეჟიმების გამოკვლევა წევის ქვესადგურის სამფაზა ბოგური გამმართველ-ინვერტორული გარდამქმნელის გათვალისწინებით წარმოდგენილია სტატიაში[20].

წევის ქვესადგურის სამფაზა ბოგური გამმართველ-ინვერტორული გარდამქმნელისა და განივ - იმპულსური მოდულაციით მართვადი მუდმივი დენის წევის ძრავის ერთიან სისტემაში ელექტრომაგნიტური გარდამავალი პროცესების გაანგარიშება და ანალიზი დროის განზოგადებული ინტერვალებისათვის მოცემულია სტატიაში[21].

ჰიბრიდული ავტონომიური ელექტროენერგეტიკული სისტემისა და ცვლადი დენის სამფაზა ქსელის პარალელური რეჟიმში ერთობლივი მუშაობისას პროცესების მართვა, რეგულირება და ოპტიმიზაცია მოცემულია სამეცნიერო ნაშრომში[22].

წევის ქვესადგურის სამფაზა ბოგური გამმართველ-ინვერტორული გარდამქმნელისა და განივ - იმპულსური მოდულაციით მართვადი მუდმივი დენის წევის ძრავის ერთიან სისტემაში პროცესების მათემატიკური და კომპიუტერული მოდელირება წარმოდგენილია სამეცნიერო ნაშრომში[23].

ნაშრომში განხილულია ძალოვანი ელექტრონიკის სქემების სხვადასხვა ჯგუფების ძირითადი მახასიათებლები, ნაჩვენებია ძალოვანი ქსელური გამმართველების, მწყვეტარების და გარდამქმნელების მუშაობის პრინციპები და გამმართველების დაცვის ტექნოლოგიები[24].

წარმოდგენილია გამმართველებისა და ნახევარგამტარული სიხშირული გარდამქმნელების მოქმედების პრინციპები, მათემატიკური აპარატის გამოყენება პროცესების მოდელირებისათვის, გამომავალი ძაბვის რეგულირების საკითხები. დამუშავებულია ბუნებრივი და იძულებითი კომუტაციით გარდაქმნის უნივერსალური სქემები, მათი რეგულირების და მართვის სქემები [25].

მონოგრაფიაში განხილულია ცვლადი სტრუქტურის ვენტილური გარდამქმნელების სქემები, ანალიზის მეთოდები, სინთეზი და ოპტიმიზაციის მეთოდები. წარმოდგენილია გამოთვლითი ტექნიკის საშუალებით ანალიზის მეთოდები და პროგრამები. გამოყენებულია პერიოდულად ნახტომისებური კანონით ცვალებადი სტრუქტურებიანი დიფერენციალური განტოლებათა სისტემები. შემოყვანილია მდგომარეობათა ცვლადების გრაფები გარდამქმნელებში მიმდინარე პროცესების ასახვისათვის [26].

მოცემულია მათემატიკური აპარატი, გამოყენებული ავტომატური მართვის თეორიაში; მიღებული დასკვნები დიფერენციალური და

სხვაობითი განტოლებების თეორიიდან. მნიშვნელოვანი ყურადღება ეთმობა წრფივი ალგებრას, მატრიცულ აღრიცხვას, კომპლექსური ცვლადების ფუნქციის თეორიას, ოპერაციულ აღრიცხვას და შემთხვევითი პროცესების თეორიას[27].

წიგნში წარმოდგენილია თავმოყრილ და განაწილებულ პარამეტრებიანი წრფივი ელექტრული წრედების ანალიზის ზოგადი მეთოდები. განხილულია ელექტრულ წრედებში გარდამავალი პროცესების გაანგარიშების მეთოდები[28].

განხილულია ძალოვან ვენტილურ წრედებში ელექტრომაგნიტური პროცესების დინამიკის ანალიზი, გაანგარიშებისა და გამოკვლევის თეორია. სხვადასხვა გარდამქმნელი სქემებისათვის მიღებულია გამოკვლევების შედეგები და შექმნილია მათემატიკური მოდელები [29].

სახელმძღვანელოში დამუშავებულია წრფივი და არაწრფივი ელექტრული წრედების გაანგარიშების მეთოდები, როგორც ერთფაზა, ასევე სამფაზა დენის წრედისათვის. განხილულია სიმეტრიული და არასიმეტრიული მრავალფაზა წრედების გაანგარიშების მეთოდები. მოცემულია გარდამავალი პროცესების გაანგარიშების კლასიკური, ოპერატორული და სიხშირული მეთოდები[30].

დამხმარე სახელმძღვანელოში დამუშავებულია მუდმივი და ცვლადი დენის ელექტრული წრედების გაანგარიშების მეთოდები, როგორც დამყარებული, ასევე გარდამავალ პროცესებისათვის. განხილულია გარდამავალი პროცესები თავმოყრილ და განაწილებულ პარამეტრებიანი ელექტრულ წრედებში. მოცემულია ელექტრომაგნიტური ველის სრული განტოლებები და მათი ამოხსნის მეთოდები [31].

მონოგრაფიაში განხილულია მოდულაციური ტიპის ინვერტორების აგების პრინციპები და თეორია, რომლებიც ითვალისწინებენ გამომავალ სინუსოიდურ ძაბვებს. მოცემულია გამომავალი ძაბვის რეგულირების მეთოდები და განხილულია ამ მოწყობილობებში დინამიური პროცესების გამოკვლევა [32].

წიგნში დამუშავებულია პასიური და აქტიური წრფივი წრედების ანალიზის თანამედროვე მეთოდები დროისა და სიხშირის არეში[33].

განხილულია არაწრფივი ელექტრულ წრედებში პროცესების ანალიზის საკითხები. აღწერილია რეზისტორული და დინამიური წრედების რიცხვითი ანალიზის მეთოდები, რომელთა გამოყენება შეთავსებადია გამოთვლითი ტექნიკის პროგრამებთან[34].

მონოგრაფიაში მოცემულია ელექტრომომარაგების სისტემებში რეჟიმების ოპტიმალური სიმეტრიების მეთოდები და საშუალებები. მოყვანილია სამფაზა არასიმეტრიული სისტემის მათემატიკური მოდელი. დამუშავებულია არასიმეტრიული რეჟიმების ტექნიკური და ეკონომიკური კრიტერიუმების მიხედვით ოპტიმიზაციის ალგორითმები[35].

ერთიანი გარდამქმნელ სისტემის ელექტრომაგნიტური პროცესების გაანგარიშება და ანალიზი კომპიუტერული პროგრამების გამოყენებით; კომპიუტერული მოდელირების მიზნით პროცესების აღმწერი დიფერენციალურ განტოლებათა სისტემის გარდაქმნა რეკურენტულ სხვაობითი განტოლებებად მატრიცულ ფორმაში; სხვაობითი განტოლებების ამოხსნის მეთოდი და მათი გამოყენება ელექტრონული სქემების ანალიზისათვის განხილულია მონოგრაფიაში[36].

წევის ქვესადგურის ერთიან გარდამქმნელ სისტემაში მატარებლის რეკუპერაციული დამუხრუჭების რეჟიმებში ელექტრომაგნიტური გარდამავალი პროცესების მათემატიკური და კომპიუტერული მოდელირება ჩატარებულია სტატიაში[37].

სამფაზა მართვადი გამმართველის დინამიური პროცესების ანალიზი ტრანსფორმატორის ძირითადი პარამეტრების გათვალისწინებით, დაფუძნებული ცვლადთა კომპლექსურ-სპექტრული-ოპერატორული გარდაქმნის მოდერნიზებულ მეთოდზე, წარმოდგენილია საკავშირო ჟურნალ „Электричество“-ში გამოქვეყნებულ სტატიაში[38].

სამფაზა დენის ავტონომიური ინვერტორისაგან და არასიმეტრიულ სტატიკური დატვირთვისაგან შემდგარი გარდამქმნელი სისტემაში

ელექტრომაგნიტური გარდამავალი პროცესების დინამიკის გამოკვლევისა და გაანგარიშების მოდერნიზებული მეთოდი დამუშავებულია ჟურნალ „Электричество“-ში [39].

წევის ქვესადგურის ერთიან გარდამქნელი სისტემის მდგომარეობათა ცვლადების მატრიცული განტოლებების ამოხსნა და შესაბამისი სხვაობითი განტოლებების მიღება, შეთავსებადი კომპიუტერული პროგრამებთან, მოცემულია სტატიაში[40].

აღწერილია Matlab გაფართოების, Simulink და Fuzzy Logic Toolbox მთელი რიგი პაკეტები, რომლებიც არსებითად აფართოებენ Matlab -ის შესაძლებლობებს შეასრულონ რთული სისტემებისათვის მათემატიკური გაანგარიშებები, მოდელირების საკითხები და გამოიყენონ შესაბამისი მიდგომა ბუნდოვანი ლოგიკისა და ნეირონული წრედების მიმართ მოცემულია ნაშრომში[41].

მექატრონული სისტემების მოდელირება Matlab - Simulink-ის გარემოში, Simulink-ის და Sim Power System-პაკეტების ბიბლიოთეკის აღწერილობა, გამოყენებული მექატრონიკის სისტემებში მოცემულია სახელმძღვანელოში[42].

Matlab6.0 - ის პრაქტიკულად გამოყენების საკითხები ნახევარ გამტარული გარდამქმნელების პროცესების გაანგარიშებისა და ანალიზის ამოცანების გადაწყვეტაში განხილულია ნაშრომში[43].

წარმოდგენილია ელექტროტექნიკური მოწყობილობებისა და სისტემებისათვის Simulink გამოყენებითი პროგრამების და სისტემებისათვის Sim Power System ბიბლიოთეკის ბლოკების აღწერა. განხილულია მოდელების გაანგარიშების შესრულების მექანიზმი. მოყვანილია რეკომენდაციები პროგრამების გამოყენების შესახებ[44].

წიგნში განხილულია მუდმივი დენის გარდამქმნელებისა და ავტონომიური ინვერტორების აგებისა და ფუნქციონირების პრინციპები. აღწერილია ელექტრომაგნიტური პროცესები, მოყვანილია კომუტაციური

რგოლების პარამეტრების გაანგარიშების მეთოდისა და ინვერტორების რეგულირების საკითხები[45].

წილად - რაციონალური გამოსახულებებისა და ორიგინალისათვის ლაპლასის შებრუნებული გარდაქმნების ზოგადი ფორმულები და Z -გარდაქმნების თეორია წარმოდგენილია მონოგრაფიაში[46].

წრფივი, არაწრფივი, ერთფაზა, სამფაზა, თავმოყრილ და განაწილებულ პარამეტრებიან ელექტრულ წრედების გაანგარიშების მეთოდები; ფილტრები, ოთხპოლუსები, ელექტრომაგნიტური ველის თეორია, მისი სრული განტოლებათა სისტემის ამოხსნის მეთოდები წარმოდგენილია ორი ტომის სახით სახელმძღვანელოში[47].

ელექტრულ წრედებში და ელექტრომაგნიტურ ველებში სივრცითი-დროითი დამოკიდებულებანი; ელექტროტექნიკაში ფიზიკური სიდიდეების გარდამქმნელები, ზეგამტარი ტრანსფორმატორები, დენის შემზღვევლები, სწრაფმოქმედი ავტომატები წარმოდგენილია მსოფლიო დონის მონოგრაფიაში[48].

მზის ფოტოელექტრული სადგურის, აკუმულატორული ბატარეის და სამფაზა ცვლადი დენის ქსელის ერთობლივი მუშაობის ერთიანი სისტემა, მასში ძირითადი თორმეტი რეჟიმის შესწავლა, ელექტრული სიდიდეების წონასწორობის განტოლებები, მდგომარეობათა ცვლადების მიმართ განტოლებების შედგენა და მათი რიცხვითი მეთოდით ამოხსნა, პროცესების მათემატიკური და კომპიუტერული მოდელირება განზოგადებული დროის ინტერვალებში, სხვაობითი განტოლებების მიღება და ამოხსნა წარმოდგენილია სამეცნიერო ნაშრომში[49].

გაერთიანებული ჰიბრიდული პარალელური ელექტრო-ენერგეტიკული სისტემებისათვის მიღებულია დენის მიხედვით გადაცემის ფუნქცია დროის განზოგადებული ინტერვალისათვის; დადგენილია ექვივალენტური პარამეტრები; გამოკვლეულია სისტემის მდგრადობა; აგებულია ამპლიტუდურ-ფაზურ-სიხშირული მახასიათებლები, რომელთა

საფუძველზე დასტურდება მუშაობის ნებისმიერ რეჟიმებში წარმოდგენილი გარდამქმნელი სისტემის მდგრადობა[50].

აკუმულატორული ბატარეის, გაერთიანებულ ჰიბრიდულ ელექტროენერგეტიკულ სისტემასთან პარალელურ რეჟიმში მუშაობისას, დამუხტვა-განმუხტვის პროცესების გამოკვლევა, მართვა და რეგულირება დამუხტვა-განმუხტვის დენებისა და ძაბვების მნიშვნელობების მიხედვით წარმოდგენილია სახელმძღვანელოში[51] და სტატიაში[52].

2. შედეგები და მათი განსჯა

თავი 1. ენერჯის არატრადიციული და განახლებადი წყაროების გარდაქმნისა და გამოყენების ტექნოლოგია ელექტროენერგეტიკაში.

1.1. არატრადიციული და განახლებადი ენერჯის წყაროების მდგომარეობა და გამოყენების პერსპექტივები.

სამეცნიერო - ტექნიკური პროგრამების არსებული დონის პირობებში ენერგომომხმარება შეიძლება დაიფაროს ორგანული საწვავის (ნახშირი, ნავთობი, გაზი), ჰიდროენერჯის და თბური ნეიტრონების საფუძველზე ატომური ენერჯების გამოყენების ხარჯზე. ერთის მხრივ, მრავალრიცხოვანი გამოკვლევების შედეგების მიხედვით[1,2]. 2020 წლისათვის ორგანული საწვავი მხოლოდ ნაწილობრივ დააკმაყოფილებს მსოფლიო ენერგეტიკის მოთხოვნებს. ენერგომომხმარების დარჩენილი ნაწილი შეიძლება დაკმაყოფილდეს არატრადიციული და განახლებადი ენერჯის წყაროების ხარჯზე.

ენერჯის არაგანახლებადი წყაროები წარმოადგენენ ნივთიერებისა და მასალების ბუნებრივ მარაგს, რომლებიც გამოიყენებიან ადამიანის მეშვეობით ენერჯის მისაღებად. მაგალითად: ბირთვული საწვავი, ნახშირი, ნავთობი და გაზი. არაგანახლებადი წყაროების ენერჯია ბუნებაში იმყოფება შეკავშირებულ მდგომარეობაში და გამოთავისუფლდება ადამიანის მიზანმიმართული მოქმედების შედეგად[1].

განახლებადი ენერჯის წყაროები გარემომცველ გარემოში არსებობენ მუდმივად, ან პერიოდულად აღძრული ენერჯის ნაკადების საფუძველზე.

არატრადიციული და განახლებადი ენერჯის წყაროებს განეკუთვნება: მზის, ქარის, გეოთერმული, ზღვის ტალღების, ოკეანეების მიმოქცევის, ბიომასის, ნახშირის, ტორფის და წყლის დიდი და მცირე ნაკადების ენერჯები[2].

ქვემოთ ნაჩვენებია არატრადიციული და განახლებადი ენერჯის წყაროების კლასიფიკაცია (ცხრილი1).

ცხრილი 1.

პირველადი ენერჯის წყაროები	ენერჯის ბუნებრივი გარდაქმნა	ენერჯის ტექნიკური გარდაქმნა	მეორადი მოხმარების ენერჯია	
დედამიწა	მიწის გეოთერმული სითბო	გეოთერმული ელექტრო სადგური	ელექტროობა	
მზე	ატმოსფერული ნალექის აორთქლება	ჰიდროელექტრული სადგური		
	ატმოსფერული ჰაერის მოძრაობა	ქარის ენერჯეტიკული დანადგარები		
	ზღვის დინებები	ზღვის ელექტრო სადგურები		
	ტალღების მოძრაობა	ტალღური ელექტრო სადგურები		
	ყინულის დნობა	ყინულოვანი ელექტრო სადგურები		
	ფოტოსინთეზი			ელექტროსადგურები ბიომასაზე
				ფოტოელექტროობა
პლანეტები	მოქცევა და მიქცევა	მიქცევითი ელექტრო სადგურები		

1.1.1. ენერგორესურსების მარაგი, განახლებადი ენერჯის წყაროების მოხმარების სტრატეგიული მიზნები და განახლებადი ენერჯეტიკის განვითარების როლი

არატრადიციული და განახლებადი ენერჯის წყაროების პოტენციური შესაძლებლობები წელიწადში შეადგენენ მილიარდ ტონა პირობითი საწვავს:

- მზის ენერჯია - 2300;
- ქარის ენერჯია - 26,7;
- ბიომასის ენერჯია - 10;
- მიწის სითბო - 40000;
- მცირე მდინარეთა ენერჯია - 360;
- ზღვისა და ოკეანეების ენერჯია - 30;
- მეორადი დაბალ პოტენციური სითბოს წყაროების ენერჯია - 530;

ენერჯის განახლებადი წყაროების და საწვავის ადგილობრივი სახეობების გამოყენების სტრატეგიული მიზნებია:

- არაგანახლებადი სათბობ-ენერჯეტიკული რესურსების გამოყენების შეზღუდვა;
- სათბობ-ენერჯეტიკის კომპლექსისგან ეკოლოგიური დატვირთვის შემცირება;
- დეცენტრალიზებული მომხმარებლისა და რეგიონების უზრუნველყოფა საწვავის შორეული და სეზონური შემოტანით;
- შორიდან შემოტანილი საწვავის ხარჯების შემცირება;

განახლებადი ენერჯეტიკის განვითარების აუცილებლობა განისაზღვრება მისი როლის მიხედვით შემდეგი პრობლემების გადაწყვეტაში;

- დეცენტრალიზებული ელექტრომომარაგების ზონებში დასახლებებისა და წარმოებების მდგრადი თბო და ელექტრომომარაგების უზრუნველყოფა;

- ცენტრალიზებული ენერგომომარაგების ზონებში, რომლებიც განიცდიან ენერჯის დეფიციტს, ავარიული და შეზღუდული გამორთვებისაგან ზარალის აღმოფხვრას, მოსახლეობებისა და წარმოებების გარანტირებული ენერგომომარაგების მინიმუმის უზრუნველყოფა;
- რთული ეკოლოგიური გარემოებიან და აგრეთვე მოსახლეობის მასიური დასვენების ადგილებიან ქალაქებში და დასახლებულ პუნქტებში ენერგეტიკული დანადგარებისაგან მავნე გამონატყორცნების შემცირება.

უკანასკნელ პერიოდში გაზრდილია ინტერესი არატრადიციული და განახლებადი ენერჯის წყაროების მიღებისა და გამოყენების ტექნოლოგიების მიმართ. საქართველოში დიდი მნიშვნელობა ენიჭება მზის და ქარის ენერჯების ელექტრული ენერჯიად გარდაქმნისა და გამოყენების ტექნოლოგიებს.

1.2. მზის ენერჯის გარდაქმნის პროცესების

ფიზიკური საფუძვლები

1.2.1. მზის გამოსხივების ინტენსიურობა

მზის გამოსხივების ენერჯის წყაროს განაპირობებს მზეზე თერმობირთვული რეაქცია. ამ ენერჯის ძირითადი ნაწილი გადადის ელექტრომაგნიტური გამოსხივების სახეში 0,2-3მკმ დიაპაზონში. ატმოსფეროს გავლით მზის ენერჯია სუსტდება ძირითადად წყლის ორთქლში ინფრაწითელი გამოსხივების შთანთქმის გამო, ოზონის მიერ ულტრაფიოლეტური გამოსხივების შთანთქმის გამო და გაზების და ჰაერში არსებული მტვრის ნაწილაკების მიერ გამოსხივების ფანტვის გამო. ატმოსფეროს მიერ მზის გამოსხივების ინტენსიურობაზე გავლენის ასახვის

ძირითადი პარამეტრია ატმოსფერული მასა (ამ). ნულოვანი ატმოსფერული მასის ამ 0 შემთხვევაში მზის გამოსხივების ინტენსიურობა ტოლია $E_{\text{მზ}} = 1360 \frac{\text{ვტ}}{\text{მ}^2}$. ამ 1 სიდიდე შეესაბამება მზის გამოსხივების გავლას უღრუბლო ატმოსფეროს გავლით ზღვის დონემდე მზის ზენიტური მდგომარეობაში ყოფნისას.

ატმოსფერული მასა დედამიწის ზედაპირის ნებისმიერი დონისათვის დღის ნებისმიერ მომენტში განისაზღვრება ფორმულით:

$$\text{ამ}(x) = \frac{x}{x_0} \cdot \frac{1}{\sin\theta}, \quad (1)$$

სადაც x - ატმოსფერული წნევა- პასკალი (პა);

x_0 - ნომინალური ატმოსფერული წნევაა ($1,013 \cdot 10^5$ პა);

θ - ჰორიზონტის ზემოთ მზის სიმაღლის კუთხეა.

დედამიწის პირობებში მეტად დამახასიათებელია ამ $1,5$ ($\theta = 42^\circ$). იგი ჩაითვლება სტანდარტულ სიდიდედ $E_c = 835 \frac{\text{ვტ}}{\text{მ}^2}$, მზის გამოსხივების ინტეგრალური ზედაპირული სიმკვრივისას $-E_{\text{მზ}} = 835 \frac{\text{ვტ}}{\text{მ}^2}$.

ფოტონის ენერგია, ევ, ტალღის λ სიგრძის გამოსხივებაში განისაზღვრება თანაფარდობიდან:

$$hv = h \frac{c}{\lambda} = \frac{1,24}{\lambda}, \quad (2)$$

სადაც h -პლანკის მუდმივაა, $6,626196 \cdot 10^{-34}$ ჯოულ · წმ;

c -სინათლის სიჩქარეა, 300000 კმ/წმ;

λ -ტალღის სიგრძეა, მკმ.

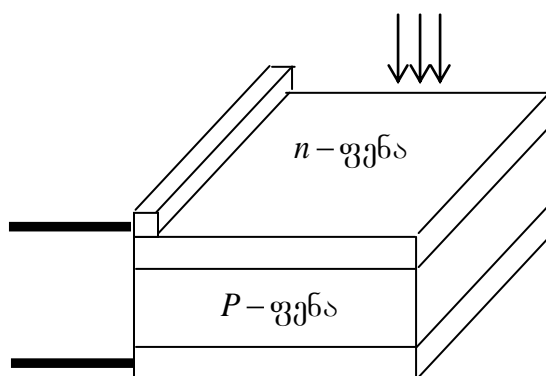
აკრძალული ზონის E_g განის მქონე მზის ელემენტის მასალაში ფოტონის შთანთქმა იწყება ტალღის ზღვრული სიგრძის ასეთი მნიშვნელობის შემდეგ:

$$\lambda_{\text{ზღვრ}} = \frac{1,24}{E_g}, \quad (3)$$

$\lambda_{\text{ზღვრ}}$ -ზე მეტი სიგრძის მქონე ტალღა არ შთანთქმება ნახევარ გამტარში და შესაბამისად, ფოტოელექტრული გარდაქმნის თვალსაზრისით უსარგებლოა.

1.2.2 $P - n$ გადასვლის ფოტოელექტრული თვისება

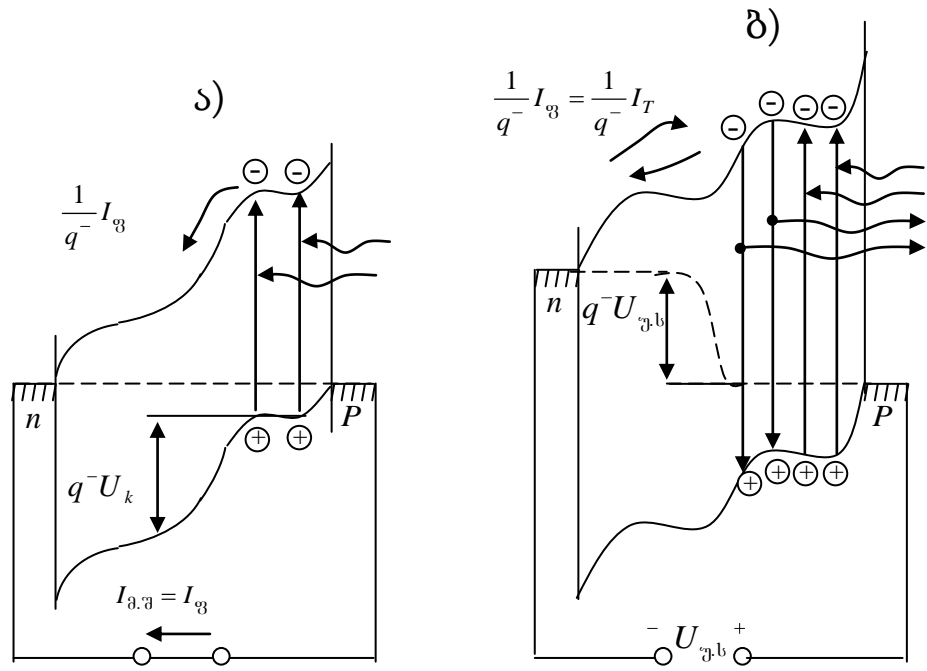
მონოკრისტალური კაჟბადის საფუძველზე დამზადებული მზის ელემენტის უმარტივესი კონსტრუქცია ნაჩვენებია ნახ.1-ზე. კაჟბადის P -ტიპის ფირფიტის ზედაპირიდან მცირე სიღრმეზე ფორმირებულია $P - n$ გადასვლა თხელი ლითონური კონტაქტით. ფირფიტის უკანა მხარეზე დასმულია მთლიანი ლითონური კონტაქტი.



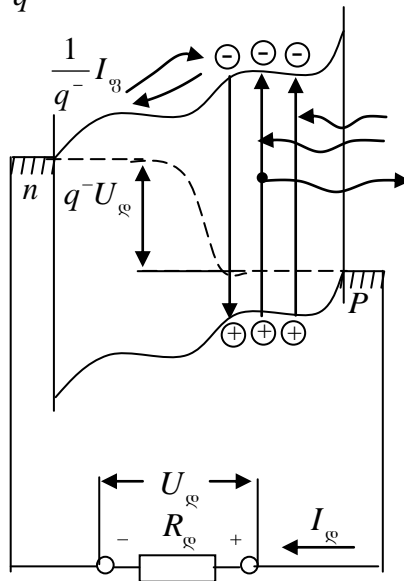
ნახ.1 უმარტივესი მზის ელემენტის კონსტრუქცია

ვთქვათ $P - n$ გადასვლა განლაგებულია ნახევარგამტარის განათებული ზედაპირიდან ახლოს. მზის ელემენტის ელექტრული ენერჯის წყაროს რანგში გამოყენებისას მის მომჭერებზე უნდა მიუერთდეს $R_{\text{დ}}$ დატვირთვის აქტიური წინაღობა. ჯერ განვიხილოთ ორი უკიდურესი შემთხვევა: $R_{\text{დ}} = 0$ (მოკლე შერთვის რეჟიმი) და $R_{\text{დ}} = \infty$ (უქმი სვლის რეჟიმი). ამ რეჟიმების ზონური დიაგრამა გამოხატულია ნახ.2,ა,ბ-ზე[5].

პირველ შემთხვევაში (ნახ.2,ა) განათებული $P - n$ გადასასვლელის ზონური დიაგრამა არ განსხვავდება თერმოდინამიური წონასწორობისას ზონური დიაგრამისაგან (განათების გარეშე და წანაცვლების ძაბვის მიუწოდებლად), რამდენადაც გარე დამოკლება უზრუნველყოფს n და P - არეს შორის ნულოვან პოტენციურ სხვაობას.



$$\frac{1}{q^-} I_{\text{გ}} = \frac{1}{q^-} (-I_{\text{გ}}) \quad \text{ბ)}$$



ნახ.2. განათებისას $P-n$ გადასასვლელის ზონური ენერგეტიკული დიაგრამები: ა) მოკლე შერთვის რეჟიმში; ბ) უქმი სვლის რეჟიმში; გ) დატვირთვის წინააღმდეგე ჩართვა

$P - n$ გადასასვლელის გავლით გარე სადენში მიედინება დენი, განპირობებული P -არეში ელექტრონულ-ხვრელური წყვილების გენერაციით. ფოტოელექტრონი, წარმოშობილი მოცულობითი მუხტის უმუალო სიახლოეში, შეიგრძნობს $P - n$ გადასასვლელის ელექტრულ ველს და დაეცემა n - არეში. დანარჩენი ელექტროდენები დიფუნდირებს $P - n$ გადასასვლელთან, ცდილობენ შეავსოს მათი სიმცირე და საერთო ჯამში აგრეთვე ეცემიან n - არეში.

n - ის არეში აღიძვრება ელექტრონების მიმართული მოძრაობა უკანა ლითონური კონტაქტისაკენ, გადაკვეთავს გარე წრედის და P - არეში მდებარე კონტაქტს. P - არის კონტაქტის საზღვართან წარმოებს ფოტოგენერირებული ხვრელებიდან აქ მოსული ელექტრონების რეკომბინაცია.

$P - n$ - გადასასვლელის გარე წრედის განხილვისას (ნახ.2,ბ), n - არეს მუხტავენ უარყოფითად. P - არეში დარჩენილი ჭარბი ხვრელები მუხტავენ P - არეს დადებითად. ამ გზით აღძრული პოტენციალთა სხვაობა არის $U_{\text{უკ}}$ უქმი სვლის ძაბვა. $U_{\text{უკ}}$ ძაბვის პოლარობა შეესაბამება $P - n$ გადასასვლელის პირდაპირ წანაცვლებას.

სინათლის გენერირებული გადამტანების ნაკადი ქმნიან $I_{\text{ფ}}$ ფოტოდენს. $I_{\text{ფ}}$ -ის სიდიდე ტოლია ფოტოგენერირებული გადამტანების რიცხვს გასული $P - n$ -გადასვლელის გავლით დროის ერთეულში:

$$I_{\text{ფ}} = q \frac{P_u}{h\nu}, \quad (4)$$

სადაც q - ელექტრონის მუხტის სიდიდეა; P_u - შთანთქმული მონოქრომატული გამოსხივების სიმძლავრეა.

აქ დაშვებულია, რომ ნახევარგამტარში თითოეული შთანთქმული ფოტონი, ენერგიით $h\nu \geq E_{\text{გ}}$ ქმნის ერთ ელექტრონულ-ხვრელურ წყვილს. ეს პირობა კარგად სრულდება კაჟბადის S და გალიუმის არსენიდის G_aA_s -ის საფუძველზე შექმნილ მზის ელემენტებისათვის [6].

მზის ელემენტში ნულოვანი ომური შიგა დანაკარგებისას მოკლე შერთვის რეჟიმი(ნახ.2,ა) ექვივალენტურია $P - n$ - გადასასვლელის

წანაცვლების ნულოვანი ძაბვისა. ამიტომ მოკლე შერთვის $I_{\text{ფ}}$ დენი ტოლია $I_{\text{ფ}}$ ფოტოდენის:

$$I_{\text{ფ}} = I_{\text{ფ}}. \quad (5)$$

უქმი სვლის რეჟიმში (ნახ.2ბ) $I_{\text{ფ}}$ ფოტოდენი წონასწორდება „სიბნელის I_T ” დენით, წარმოშობილი $U_{\text{უ.ს}}$ წანაცვლების ძაბვისას $P-n$ -გადასასვლელის გავლით, როგორც პირდაპირი დენი. „სიბნელის I_T ” დენის აბსოლუტური მნიშვნელობა ტოლია:

$$I_T = I_0 \exp \left[\left(\frac{qU_{\text{უ.ს}}}{AkT} \right) - 1 \right] = I_{\text{ფ}}, \quad (6)$$

საიდანაც, როცა $I_{\text{ფ}} \gg I_0$ გვაქვს:

$$U_{\text{უ.ს}} = \frac{AkT}{q} \ln \left(\frac{I_{\text{ფ}}}{I_0} + 1 \right) \approx \frac{AkT}{q} \ln \frac{I_{\text{ფ}}}{I_0}, \quad (7)$$

სადაც k -ბოლცმანის მუდმივაა, $1,38 \cdot 10^{-23} \frac{\text{ჯოულ}}{\text{K}} = 0,86 \cdot 10^{-4} \frac{\text{ევ}}{\text{K}}$;

T -აბსოლუტური ტემპერატურაა, k ;

I_0 -გაჟღერების დენია;

$$A = 0,434 \frac{q}{KT} \Delta U, \quad (8)$$

სადაც ΔU -ძაბვის ნაზრდია მხეხისადმი დენის სიმკვრივის ერთი რიგით ნაზრდისას.

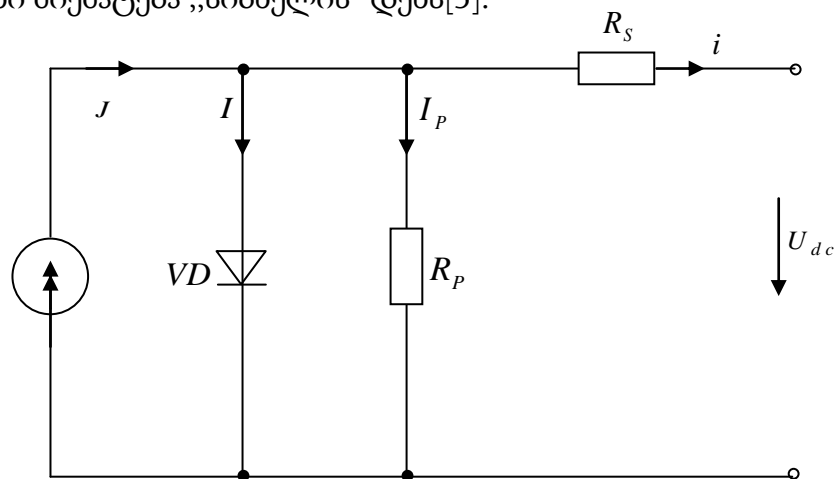
$A-P-n$ გადასასვლელის ვოლტ-ამპერული მახასიათებლის პარამეტრია, ცვალებადი გრაფიკის სხვადასხვა უბნებისათვის 1-დან 2-მდე (8) გამოსახულების კანონზომიერების დაცვით.

„სიბნელის I_T ” დენი თანამდებია დენის არაძირითადი გადამტანების რეკომბინაციებით (მოცემულ შემთხვევაში P არეში ელექტრონებით). რეკომბინაციის აქტისას ელექტრონულ ხვრელური წყვილების პოტენციალური ენერგია გამოიყოფა ან ფოტონის გამოსხივებით, რომლისთვისაც $h\nu \approx E_{\text{გ}}$, ან იხარჯება კრისტალური მესერის გახურებაზე. ორთავე პროცესი სქემატურად ნაჩვენებია დამატებითი ისრებით ნახ.2,ბ-ზე. ასე ამგვარად უქმი სვლის რეჟიმი მზის ელემენტისა ექვივალენტურია

სინათლის დიოდის მუშაობის რეჟიმისა; აგრეთვე გამმართველი დიოდების გამტარ მიმართულებით[7].

1.3. მზის ელემენტის ვოლტ-ამპერული მახასიათებელი

ვიპოვოთ განათებული P-n გადასვლის ვოლტ-ამპერული მახასიათებლის განზოგადებული გამოსახულება. ამისათვის დავუშვათ, რომ ამ P-n გადასვლაზე მიერთებულია კვების წყარო ვარირებული ძაბვით. წანაცვლების დადებითი ძაბვისას $I_{\text{ფ}}$ ფოტოდენი გამოირიცხება P-n გადასვლის „სიბნელის“ დენისაგან, ხოლო უარყოფითი ძაბვისას $I_{\text{ფ}}$ ფოტოდენი მიემატება „სიბნელის“ დენს[5].



ნახ.3. მზის ელემენტის შენაცვლების ელექტრული სქემა

მზის ელემენტის შენაცვლების სქემაში (ნახ.3) გამომავალ მახასიათებელზე სხვადასხვა პირობების გავლენის გამოკვლევამ მიგვიყვანა ვოლტ-ამპერული მახასიათებლის განტოლებაში სამი დამატებითი A, R_s და R_p პარამეტრების ჩართვაზე. ნახ.2-გ-ზე განხილულია P-n გადასვლეზე ვარირებადი $R_{\text{დ}}$ დატვირთვის წინააღობის მიერთება. დატვირთვაში დენის მიმართულება ყოველთვის ემთხვევა I დენის მიმართულებას; ხოლო თვით დატვირთვის დენი i ტოლია P-n გადასასვლის გავლით რეზულტირებული დენისა[8].

$$i = J - I \left\{ \exp \left[\frac{e(U_{dc} + iR_s)}{AKT} \right] - 1 \right\} - \frac{U_{dc}}{R_p}, \quad (9)$$

სადაც A დიოდური კოეფიციენტია და ლებულობს მნიშვნელობას 1-დან 5-მდე; R_s -მზის ელემენტის მიმდევრობითი წინალობაა; R_p -მზის ელემენტის მამუნტირებელი წინალობა; K -ბოლცმანის კოეფიციენტია; T -აბსოლუტური ტემპერატურა; e -ელექტრონის მუხტი; i - მზის ელემენტის გამომავალი დენი; U_{dc} - მზის ელემენტის გამომავალი ძაბვა; $J - P - n$ გადასასვლელზე გამავალი ფოტოდენი; I - გაჯერების უკუდენი[9].

(9) განტოლებაში ჯამი $U_{dc} + iR_s$ წარმოადგენს დიოდურ U_d ძაბვას, რომელიც ნიშნავს თვით მზის ელემენტზე ძაბვის ვარდნას. თუ დენის მიმართულება საწინააღმდეგოა ნახ.3-ზე ნაჩვენები დენის მიმართულებისა, მაშინ ჯამი $U_d = U_{dc} - iR_s$

მზის ელემენტის ყველა პარამეტრი იცვლება ტემპერატურის, განათებულობის ინტენსიურობისა და რადიაციული დაზიანების ხარისხის ცვალებადობასთან ერთად. ამის გამო ძნელია გაიზომოს ყველა დიაპაზონში პარამეტრები I, A, R_s, R_p

(9)-დან განვსაზღვროთ U_{dc} :

$$U_{dc} = R_p [J - I \{ \exp [K_0 (U_{dc} + iR_s)] - 1 \} - i] \quad (10)$$

სადაც

$$K_0 = \frac{e}{AKT} \quad (11)$$

(10)-დან უქმი სვლის ($i = 0$) და მოკლე შერთვის ($U_{dc} = 0$) რეჟიმებისათვის გვაქვს განტოლებათა შემდეგი სისტემა:

$$\left. \begin{aligned} U_{dc_{უქმ}} &= R_p [J + I - I \cdot \exp(K_0 U_{dc_{უქმ}})] \\ i_{n.p} &= J + I - I \cdot \exp(K_0 i_{n.p} \cdot R_s) \end{aligned} \right\} \quad (12)$$

(12) განტოლებათა სისტემის ამოხსნა I და J -ს მიმართ გვაძლევს:

$$I = \frac{c}{R_p} U_{dc_{უქმ}}; \quad J = \frac{1 + cb}{R_p} U_{dc_{უქმ}}; \quad J = \left(b + \frac{1}{c} \right) I \quad (13)$$

სადაც:

$$b = \exp(K_0 U_{dcუქს}) - 1; \quad c = \frac{1 - \frac{R_p i_{გა}}{U_{dcუქს}}}{\exp(K_0 i_{გა} R_s) - \exp(K_0 U_{dcუქს})}. \quad (14)$$

(13) გამოსახულებები ჩავსვათ (10)-ში, მივიღებთ მზის ელემენტის ვოლტ-ამპერული მახასიათებლის განტოლებას ფარდობით ერთეულებში[10]:

$$U_{dc}^* + a \cdot i^* = b' - c \cdot \exp[d(U_{dc}^* + i^*)], \quad (15)$$

სადაც:

$$a = \frac{R_p}{R_s}, \quad d = K_0 U_{dcუქს}, \quad b' = 1 + c(1 + b),$$

$$i^* = \frac{i}{\frac{U_{dcუქს}}{R_s}}, \quad U_{dc}^* = \frac{U_{dc}}{U_{dcუქს}}, \quad (16)$$

(15) განტოლების მარჯვენა მხარის მეორე წევრი დავშალოთ ტეილორის მწკრივებად და გავითვალისწინოთ დაშლის პირველი სამი წევრი. შედეგად (15) – დან მივიღებთ:

$$U_{dc}^* \left(1 + cd + \frac{1}{2} cd^2 U_{dc}^* + cd^2 i^* \right) = b' - c - (a + cd)i^* - \frac{1}{2} cd^2 (i^*)^2 \quad (17)$$

დენის $0 < i^* < i_{გა}^*$ ინტერვალისათვის (17) განტოლების ამოხსნა გვაძლევს $U_{dc}^* = f(i^*)$ ვოლტ-ამპერული მახასიათებლის განტოლებას[11]:

$$U_{dc}^* = \frac{1}{cd^2} \left(-[1 + cd + cd^2 i^*] \pm \left[[1 + cd(1 + di^*)]^2 + 2cd^2 \left[b' - c - (a + cd)i^* - \frac{1}{2} cd^2 (i^*)^2 \right]^{\frac{1}{2}} \right] \right) \quad (18)$$

მზის ელემენტის სიმძლავრისთვის გვაქვს:

$$P^* = U_{dc}^* \cdot i^* = \frac{1}{cd^2} \left(-i^* [1 + cd(1 + di^*)] \pm i^* \left[[1 + cd + cd^2 i^*]^2 + 2cd^2 \left[b' - c - (a + cd)i^* - \frac{1}{2} cd^2 (i^*)^2 \right]^{\frac{1}{2}} \right] \right) \quad (19)$$

(19) გამოსახულებაში თუ მივიღებთ დაშვებას $R_s = R_p$ მაშინ გვექნება $a = 1$; $\mu_3 = 0$ და $\frac{dP^*}{di^*} = 0$ პირობისათვის მივიღებთ $i_{ოპტ}^*$ ოპტიმალური დენის მიმართ შემდეგ განტოლებას:

$$\mu_2 (i_{ოპტ}^*)^2 + \mu_1 i_{ოპტ}^* + \mu_0 = 0 \quad (20)$$

სადაც

$$\left. \begin{aligned} \mu_2 &= 4c^2d^4[1 + 2cd - d^2c(2b' - c)]; \\ \mu_1 &= 4d^2c[1 + cd(3 + 2b'/d) + c^2d^2[1 + d(2b' - c)]]; \\ \mu_0 &= 2cd + c^2d^2(5 - c^2d^2) + dc^2d^32(2 + cd) \end{aligned} \right\} \quad (21)$$

(20) განტოლების ამოხსნა და (18) განტოლების გათვალისწინება გვაძლევს $i_{\text{ოპტ}}^*$ ოპტიმალური დენის და ოპტიმალური $U_{\text{dcოპტ}}^*$ ძაბვის შემდეგ გამოსახულებებს:

$$i_{\text{ოპტ}}^* = \frac{1}{2\mu_2} \left[-\mu_1 \pm (\mu_1^2 - 4\mu_0\mu_2)^{\frac{1}{2}} \right]; \quad (22)$$

$$U_{\text{dcოპტ}}^* = \frac{1}{cd^2} \left(-[1 + cd(1 + di_{\text{ოპტ}}^*)] \pm \left[[1 + cd(1 + di_{\text{ოპტ}}^*)]^2 + 2cd^2 \left[b - c - (a + cd)i_{\text{ოპტ}}^* - \frac{1}{2}cd^2(i_{\text{ოპტ}}^*)^2 \right]^{\frac{1}{2}} \right] \right) \quad (23)$$

ექსპერიმენტული მონაცემებით მოცემულად ითვლება უქმი სვლის ძაბვა და მოკლე შერთვის დენი ($U_{\text{dcუქმ, მ.გ.}}$). (23)-ში $a = 1$. ამ მონაცემების მიხედვით ვპოულობთ $b, c, d, \mu_0, \mu_1, \mu_2$ კოეფიციენტებს (14), (15) და (21) გამოსახულებების საფუძველზე. (16) გამოსახულებიდან ვპოულობთ $i_{\text{ოპტ}}^*$ ოპტიმალურ დენსა და $U_{\text{dcოპტ}}^*$ ოპტიმალურ ძაბვას.

ამრიგად, მზის ელემენტის ვოლტ-ამპერულ მახასიათებელზე გვაქვს სამი წერტილის კოორდინატები ცნობილი:

$$M_1(0,1); \quad M_2(i_{\text{ოპტ}}^*; U_{\text{dcოპტ}}^*); \quad M_3(1,0);$$

მოვახდინოთ ამ სამი წერტილის კოორდინატების მიხედვით $U_{\text{dc}}^* = f(i^*)$ ვოლტ-ამპერული მახასიათებლის ინტერპოლაცია ლანგრანჟის ფორმულის მიხედვით და შედეგად მივიღებთ[12]:

$$U_{\text{dc}}^* = \frac{i^* - 1}{i_{\text{ოპტ}}^*} \left(i^* - i_{\text{ოპტ}}^* + \frac{i^* \cdot U_{\text{dcოპტ}}^*}{i_{\text{ოპტ}}^*} - 1 \right) \quad (24)$$

(24) გამოსახულებას მივცეთ კვადრატული სამწევრის სახე;

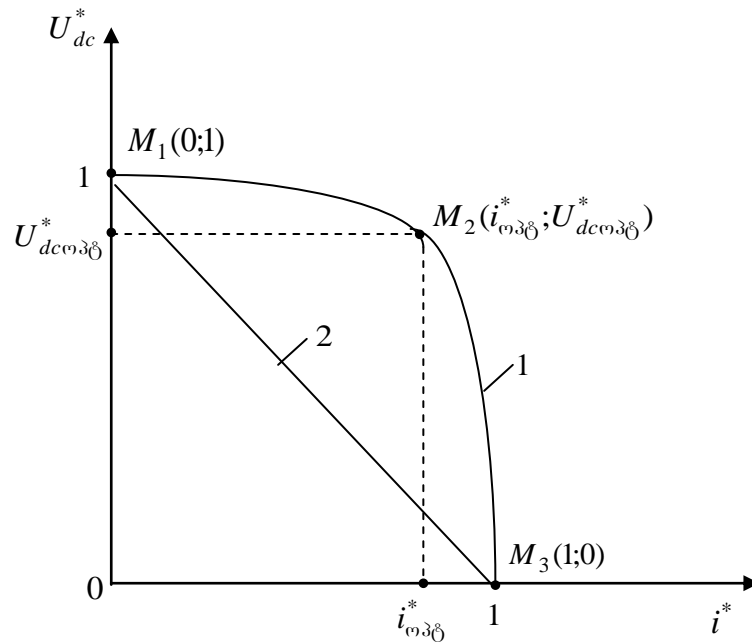
$$U_{\text{dc}}^* = A_1(i^*)^2 - (1 + A_1)i^* + 1 \quad (25)$$

სადაც

$$A_1 = \frac{1}{i_{\text{ოპტ}}^*} + \frac{U_{dc \text{ ოპტ}}^*}{[i_{\text{ოპტ}}^* (i_{\text{ოპტ}}^* - 1)]} \quad (26)$$

(25), (26)-დან გამომდინარეობს, რომ თუ $i^* = 0$, მაშინ $U_{dc}^* = U_{dc \text{ უქმ}}^* = 1$; თუ $U_{dc}^* = 0$, მაშინ გვაქვს $i^* = i_{\text{გ.გ}}^* = 1$

თუ $i^* = i_{\text{ოპტ}}^*$, მაშინ გვაქვს $U_{dc}^* = U_{dc \text{ ოპტ}}^*$. (25) განტოლების საფუძველზე აგებულ ვოლტ-ამპერულ მახასიათებელს აქვს ნახ.4-ზე ნაჩვენები მრუდი 1-ის სახე.



ნახ.4. მზის ელემენტის ვოლტ-ამპერული მახასიათებელი

იმ შემთხვევაში თუ (15) განტოლების მარჯვენა მხარის მეორე წევრის ტეილორის მწკრივებად დაშლაში გავითვალისწინებთ მხოლოდ დაშლის პირველი ორ წევრს, მაშინ ვოლტ-ამპერული მახასიათებლის გამოსახულებას აქვს სახე:

$$U_{dc}^* = 1 - i^* \quad (27)$$

(27) გამოსახულების საფუძველზე აგებულ ვოლტ-ამპერულ მახასიათებელს აქვს ნახ.4-ზე ნაჩვენები მრუდი 2-ის სახე.

როგორც ნახ.4-დან ჩანს ტეილორის მწკრივებად დაშლის მესამე წევრის უგულვებელყოფა იწვევს ვოლტ-ამპერული მახასიათებლის გაწრფივებას. შესაბამისად ცდომილებაც მნიშვნელოვნად დიდია. ამიტომ ვოლტ-ამპერული მახასიათებლის შედარებით ზუსტი აგებისათვის, რომელშიც გათვალისწინებულია დენისა და ძაბვის ზღვრული ოპტიმალური I_{opt}^* , $U_{dc\,opt}^*$. მნიშვნელობები, აუცილებელი და საკმარისია ტეილორის მწკრივებად დაშლაში გათვალისწინებული იქნას პირველი სამი წევრი [12].

1.4. მზის ელემენტების კონსტრუქციები და მასალები

მონოკრისტალური კაჟბადის საფუძველზე სტრუქტურების წარმოება ტექნოლოგიურად რთული და ძვირადღირებული პროცესია. ამიტომ ყურადღება მიექცა ისეთ მასალებს, როგორებიცაა ამორფული კაჟბადის ($a - Si:H$) საფუძველზე შენადნობები, გალიუმის არსენიდი და მრავალკრისტალური ნახევარგამტარები.

ამორფული კაჟბადი-აღმოჩნდა უფრო იაფი ალტერნატიული სახე, ვიდრე მონოკრისტალური კაჟბადი. მის საფუძველზე პირველი მზის ელემენტი შექმნილი იქნა 1975 წელს. ამორფული კაჟბადის ოპტიკური შთანთქმა 20-ჯერ მაღალია, ვიდრე მონოკრისტალის. ამიტომ ხილული სინათლის არსებითად შთანთქმისათვის საკმარისია 0,5-1,0 მკმ თხელი $a - Si:H$ ამორფული კაჟბადის ფირფიტები ძვირადღირებული 300 მკმ სისქის მონოკრისტალური კაჟბადის მაგივრად. გარდა ამისა, დიდი ფართობის ამორფული კაჟბადის თხელი ფირფიტების მიღების არსებული ტექნოლოგიების გამო არ საჭიროებს ჭრის ოპერაციებს, გასუფთავებას და პოლირებას, რაც მონოკრისტალური კაჟბადის საფუძველზე მზის ელემენტების დამზადებისათვის აუცილებელია. მრავალკრისტალური კაჟბადის ელემენტებთან შედარებით $a - Si:H$ -ის საფუძველზე ნაწარმს ამზადებენ შედარებით დაბალ ტემპერატურაზე ($300^{\circ}C$): შეიძლება

გამოყენებულ იქნას იაფი მინის საფენები, რაც ამცირებს კაჟბადის დანაკარგებს 20-ჯერ.

ჯერჯერობით მაქსიმალური მარგიქმედების კოეფიციენტის (12%) მქონე ასეთი ტიპის ელემენტები დამზადებულია $a-Si:H$ -ის საფუძველზე, რამდენადმე ნაკლებია კრისტალური კაჟბადის მზის ელემენტის (~15%) მ.ქ.კ.-ზე. ერთის მხრივ, არ არის გამორიცხული, რომ ტექნოლოგიების განვითარების გამო $a-Si:H$ -ის საფუძველზე დამზადებული მზის ელემენტების მ.ქ.კ. მიაღწევს -16%-ს.

გალიუმის არსენიდი ერთ-ერთი მეტად პერსპექტიული მასალებია მაღალეფექტური მზის ბატარეის შექმნისთვის. ეს აიხსნება მისი შემდეგი განსაკუთრებულობით [13].

- თიქმის იდეალური ერთგადასასვლელიანი მზის ელემენტების აკრძალვის ზონა არის 1,43 ევ;
- მზის გამოსხივების შთანთქმისადმი ამაღლებული უნარი მოითხოვს მთლიანად რამოდენიმე მიკრონის სისქის ფენას;
- GaAs-ის საფუძველზე ბატარეის გახურების მიმართ შედარებით არამგრძნობელობა;
- GaAs-ის შენადნობების მახასიათებლები ალუმინთან, დარიშხანთან, ფოსფორთან ან ინდიუმთან ავსებს GaAs-ის მახასიათებლებს, რაც აფართოვებს შესაძლებლობებს მზის ელემენტების დაპროექტებისას.

არსენიდი გალიუმის და მათ საფუძველზე შენადნობების მთავარი ღირსებაა მზის ელემენტების დიზაინისათვის ფართო შესაძლებლობების დიაპაზონი. GaAs-ის საფუძველზე ფოტოელემენტი შეიძლება შეიცავდეს სხვადასხვა შემადგენლობის ფენებს. ეს საშუალებას აძლევს დამამუშავებელს დიდი სიზუსტით მართვის მუხტების გადამტანების გენერაციის მიღებას, რაც კაჟბადიანი მასის ელემენტებში შეზღუდულია ლეგირების დასაშვები დონით. GaAs-ის საფუძველზე ტიპიური მზის

ელემენტი შედგება ფანჯრის რანგში A/GaAs-ის ძალიან თხელი ფენისაგან [14].

არსენიდ გალიუმის ძირითადი უარყოფითი მხარეა მისი მაღალი ფასი. წარმოების გაიაფებისათვის მზის ელემენტის ფორმირებას ახდენენ უფრო იაფი საფენებით; ქმნიან GaAs-ის ფენას იოლად მოსაცილებელ ან მრავალჯერადი გამოყენების ქვედა საყრდენად.

მრავალკრისტალური თხელი ფენები ძალიან პერსპექტიულია მზის ენერგეტიკისათვის. ამ მასალების სისქის პირველ მიკრონში წარმოებს სინათლის 99%-ის შთანთქმა და მათი აკრძალვის ზონაა 1,0 ევ.

კადმიუმის ტელურიდი (CdTe)- კიდევ ერთი პექსპექტიული მასალაა ფოტოელექტრული ელემენტებისათვის. მათ დაახლოების იდეალური აკრძალული ზონის სიგანე აქვთ (1,44 ევ) და ძალიან დიდი უნარი აქვთ გამოსხივების შთანთქმისათვის. ამას გარდა, ტექნოლოგიურად არაა რთული მივიღოთ შენადნობი Zn-თან და Hg-თან, რაც იძლევა მოცემული თვისებების ფენებს. ტყვიის ჟანგი გამოიყენება როგორც გამჭირვალე კონტაქტი და განათებული საფარი. CdTe-ის ფირფიტები ხასიათდებიან მუხტების გადამტანების მაღალი მოძრაობით, ხოლო მათ საფუძველზე მზის ელემენტები ხასიათდებიან მაღალი მ.ქ.კ.-ით 10%-დან 16%-მდე [15].

მზის ელემენტებს შორის განსაკუთრებული ადგილი უკავია ბატარეებს, შესრულებული ორგანული მასალების გამოყენებით. მათი მ.ქ.კ. შეადგენს ~11%. ასეთი მზის ელემენტის საფუძველს შეადგენს აკრძალვის ფართო ზონიანი ნახევარგამტარი - TiO_2 , დაფარული ორგანული საღებავის მონოფენით. ელემენტის მუშაობის პრინციპი დაფუძნებულია საღებავის ფოტოაღზნებაზე და TiO_2 -ის გამტარობის ზონაში ელექტრონის სწრაფ ინჟექციაზე. ამ დროს საღებავის მოლეკულა იჟანგება, ელემენტის გავლით გადის ელექტრული დენი და პლატინის ელექტროდზე წარმოებს ტრიოდის აღდგენა იოდიდამდე. შემდგომ იოდინი გადის ელექტროლიტის გავლით ფოტოელექტროდისაკენ, სადაც აღდგება დაჟანგული საღებავი [16].

1.5. ქარის ენერჯია და მისი გამოყენების შესაძლებლობები.

1.5.1. ქარის წარმოშობა, საქართველოს ქარის ზონები.

ქარის წარმოშობის ძირითადი მიზეზია მზით დედამიწის ზედაპირის არათანაბარი გახურება. დედამიწის ზედაპირი არაერთგვაროვანია: ხმელეთი, ოკეანეები, მთები, ტყეები განაპირობებენ ზედაპირის სხვადასხვა გახურებას ერთი და იგივე განედის ქვეშ. ყველა ეს მიზეზები ართულებს ატმოსფეროს ზოგად ცირკულაციას. აღიგზნება ამა თუ იმ ხარისხში ერთმანეთთან დაკავშირებული რიგი ცალკეული ცირკულაციები [17].

დედამიწის ზედაპირის ეკვატორზე დევს წყნარი ზონა სუსტი ცვალებადი ქარებით. წყნარი ზონის ჩრდილოეთით და სამხრეთით განლაგებულია ზონები, რომლებიც დედამიწის დასავლეთიდან აღმოსავლეთისკენ ბრუნვის გამო გადაიხრებიან დასავლეთისაკენ. ამის გამო ჩრდილოეთ ნახევარსფეროში მუდმივი ქარები შემოდინა ჩრდილოაღმოსავლეთიდან, ხოლო სამხრეთ-ნახევარსფეროში კი სამხრეთ-აღმოსავლეთიდან.

დედამიწის ზედაპირის რელიეფის განსაკუთრებული ადგილობრივი პირობები (ზღვები, მთები და სხვა) იწვევენ ადგილობრივ ქარებს.

დღისითა და ღამით ტემპერატურის ცვალებადობის შედეგად აღიძვრებიან ზღვის სანაპირო ქარები, რომლებსაც უწოდებენ „ბრიზებს“.

დღისით, მზიან ამინდში ხმელეთი ძლიერ ხურდება, ვიდრე ზღვის ზედაპირი, ამიტომ გახურებული ჰაერი ხდება ნაკლებად მკვრივი და აიწევა ზემოთ. ამასთან ერთად ზღვის უფრო ცივი ჰაერი მისწრაფვის ხმელეთისაკენ და ქმნის ზღვის სანაპირო ქარს. ხმელეთის ზემოთ აწეული ჰაერი მიედინება ზღვის მხარეს ზედა ფენებში და ნაპირიდან რაღაც მანძილზე ეშვება ქვემოთ [18].

ამგვარად, აღიძვრება ჰაერის ცირკულაცია ზღვის სანაპიროზე ქვემოთ მიმართულებით და ხმელეთიდან ზღვისკენ ზემოდ მიმართულებით. ღამით ხმელეთის ზემოდ ჰაერი ძლიერ ცივდება, ვიდრე ზღვის ზემოდ,

ამიტომ ცირკულაციის მიმართულება იცვლება: ზღვაზე ჰაერი მოძრაობს ქვემოთ, ხოლო ზღვიდან ხმელეთზე ზემოდ. ასეთი ქარის („ბრიზების“) გავრცელების ზონაა დაახლოებით 40კმ ზღვის მხარეს და 40 კმ ხმელეთის მხარეს. ქარის სიმაღლე ჩვენს განედზე აღწევს 200 - დან 300 მ-დე. ტროპიკული ქვეყნებში „ბრიზები“ შეიმჩნევა დაახლოებით წლის ყველა დროში, ხოლო ზომიერ სარტყელში მხოლოდ ზაფხულობით ცხელ ამინდში. „ბრიზები“ შეიძლება არსებობდეს ზაფხულობით შავი და კასპის ზღვის სანაპიროებზე.

დიდი ზღვებისა და ოკეანეების სანაპირო რაიონებში ტემპერატურის წლიური ცვალებადობა იწვევენ „ბრიზების“ ანალოგიურად ცირკულაციას წლიური პერიოდით. ეს ცირკულაცია უფრო მძლავრი ზომისაა, ვიდრე „ბრიზები“ და წოდებულია, როგორც „მუსონები“. მუსონები აღიძვრებიან შემდეგი მიზეზით: ზაფხულში კონტინენტი ხურდება ძლიერ, ვიდრე მის გარშემო მყოფი ზღვები და ოკეანეები. ამის გამო კონტინენტის ზემოდ წარმოიქმნება დაბალი წნევა, ჰაერი ოკეანიდან კონტინენტისაკენ მიისწრაფვის ქვემოთ, ხოლო ზემოდ შებრუნებით, მიედინება კონტინენტიდან გარშემორტყმულ ოკეანეებისაკენ. ამ ქარებს უწოდებენ ზღვის „მუსონებს“. ზამთრობით კონტინენტი მნიშვნელოვნად ცივია, ვიდრე ზღვის ზედაპირი; მათ ზემოთ წარმოიშვება მაღალი წნევის არე; ამის შედეგად ჰაერის ქვედა ფენა მიემართებიან კონტინენტიდან ოკეანეებისაკენ, ხოლო ზედა ფენებში კი შებრუნებით, ოკეანეებიდან კონტინენტებისაკენ. ასეთ ქარებს უწოდებენ „მატერიალურ მუსონებს“ [18].

ქვეყნის სხვადასხვა ზონებს აქვთ ქარის რეჟიმები, რომლებიც ერთმანეთისაგან ძლიერ განსხვავდებიან. ქარის საშუალო წლიური სიჩქარის მნიშვნელობა მოცემულ რაიონში იძლევა საშუალებას დაახლოებით წარიმართოს მსჯელობა ქარის ძრავების გამოყენების მიზანშეწონილობაზე და შესაბამისი აგრეგატების ეფექტურობაზე.

ენერგეტიკაში ეკოლოგიურად უსაფრთხოა მზის, ქარის, ზღვის მიმოქცევის და სხვა ასეთი სახის ენერჯიები, რომელთა გამოყენებისას არ

ხდება CO_2 -ის გამოყოფა და რადიოაქტიური ნივთიერებებით გარემოს გაჭუჭყიანება.

ეკოლოგიურად სუფთა და განახლებადი ენერჯის წყაროს მიეკუთვნება ქარის ენერჯია. ცნობილია, რომ პლანეტაზე ქარის ჯამური სიმძლავრეა 2700 ტერავატი. აქედან 670 ტერავატი სიმძლავრე დედამიწის ზედაპირიდან დაახლოებით 100მ სიმაღლეზე არსებობს, ხოლო 2000 ტერავატის სიმძლავრე მოდის ატმოსფეროს ზედა ფენაზე დედამიწის ზედაპირიდან დაახლოებით 7-დან 12 კმ-მდე სიმაღლეზე პლანეტის ჩრდილოეთით და სამხრეთით. ნახევარსფეროს $40^\circ - 70^\circ$ განედზე. ამ სიმაღლეზე ქარს აქვს სტაბილური პარამეტრები როგორც დღე-ღამის, ასევე წლის განმავლობაში. ქარის საშუალო წლიური სიჩქარე აღწევს 20-30 მ/წმ-ს. ასეთი ამოუწურავი და ეკოლოგიურად სუფთა ენერჯის გამოყენება შესაძლებელია მხოლოდ სპეციალურად დამუშავებული ტექნოლოგიებით, რომელთა საფუძველს უნდა შეადგენდეს აეროსტატიკური მიბმული ბაქნები. ასეთ სიმაღლეზე განთავსებული 100 მვტ დადგმული სიმძლავრის მქონე ქარის ელექტროსადგურები 2050 წლისათვის საჭირო იქნება დაახლოებით 290000 ერთეული. თუ მოთხოვნილი მთელი სიმძლავრის 50%-ს დააკმაყოფილებს ასეთ სიმაღლეზე განთავსებული ქარის ელექტროსადგურები, მაშინ საჭირო იქნება 100 მვტ სიმძლავრის მქონე 145000 ერთეული ასეთი დანადგარის შექმნა დედამიწის ჩრდილოეთი და სამხრეთი ნახევარსფეროს ტერიტორიის ზემოთ 40° -დან 70° -განედამდე. მათ ტროფოსფერული ქარის ელექტრო დანადგარებს უწოდებენ.

მიწის ზედაპირიდან 100 მ სიმაღლეზე არსებული ქარის ენერჯის გამოყენებას დიდი ყურადღება ექცევა ისეთ ქვეყნებში, როგორცაა: დანია, აშშ, გერმანია, ინგლისი, ბელგია, ნიდერლანდები, იაპონია, ინდოეთი, უკრაინა, რუსეთი და საქართველო. ექსპერტების შეფასებით 2020 წლისათვის რეალურად უნდა იყოს ათვისებული 45105 მვტ სიმძლავრე, რაც უზრუნველყოფს ზოგადი მოთხოვნილი სიმძლავრის 3,5%-ს ქარის ელექტროსადგურების მიერ დაკავებული მიწის ფართობი იქნება 5400 კმ².

დღეისათვის ქარის ელექტროსადგურებში, როგორც წესი, გამოიყენება ძირითადად ასინქრონული გენერატორები. ტურბინის ნორმალურ ბრუნთა სიხშირეა 20-30 ბრ/წთ. გენერატორის ამძრავის მუშაობა ხორციელდება $K = 50 \div 75$ რედუქციის კოეფიციენტის მქონე რედუქტორით, რომელიც წარმოადგენს ხმაურის დამატებით წყაროს და ამცირებს მთლიანად სისტემის საიმედოობას. ქარის ელექტროსადგურების პარალელური მუშაობისას ასინქრონული გენერატორების უპირატესობად ითვლება ელექტრომაგნიტური მომენტის, დენის და გენერირებული სიმძლავრის შედარებით მცირე რხევები ქარის სიჩქარის ცვლილებათა პირობებში.

საქართველოში ქარის ელექტროსადგურების აშენება პერსპექტიულია სამხრეთ საქართველოს მთიანეთში, კახაბრის ვაკისა და კოლხეთის დაბლობის ცენტრალურ ნაწილში.

1.5.2. ქარის ძრავების კლასიფიკაცია მუშაობის პრინციპის მიხედვით.

ქარის ძრავების (გენერატორების) არსებული სისტემები ქარის ბორბლის მოწყობილობათა სქემებისა და ქარის ნაკადში მისი მდებარეობის მიხედვით იყოფა სამ კლასად.

პირველი კლასში თავს იყრის ისეთი ქარის ძრავები, რომელთაც ქარის ბორბალი განლაგებული აქვთ ვერტიკალურ სიბრტყეში. ამ დროს ბრუნვის სიბრტყე ქარის მართობულია და შესაბამისად ქარის ბორბლის ღერძი ქარის ნაკადის პარალელურია. ასეთი ქარის ძრავებს უწოდებენ ფრთოვანს.

ფრთის ბოლო წერტილის წრიული სიჩქარის ფარდობა ქარის სიჩქარესთან წარმოადგენს სწრაფსვლიანობას:

$$Z = \frac{\omega R}{V} ; \quad (28)$$

ფრთოვანი ქარის ძრავები ქარის ბორბლის ტიპის და სწრაფსვლიანობის მიხედვით იყოფიან სამ ჯგუფად:

- მრავალ ფრთიანი, ნელსვლიანი, სწრაფმავალი $Z \leq 2$ ქარის ძრავები;
- მცირე ფრთიანი, ნელსვლიანი, მათ შორის ქარის წისქვილი, სწრაფმავალი $Z > 2$ ქარის ძრავები;
- მცირე ფრთიანი, სწრაფმავალი $Z \geq 3$ ქარის ძრავები.

მეორე კლასს განეკუთვნებიან ქარის ბორბლის ბრუნვის ღერძის ვერტიკალური მიმართულებიანი ქარის ძრავების სისტემა.

მესამე კლასს განეკუთვნებიან ქარის ძრავები, რომლებიც მუშაობენ წყლის წისქვილის ბორბლის მუშაობის პრინციპზე. მათ უწოდებენ დოლურ ძრავებს. ასეთი ქარის ძრავებს ბრუნვის ღერძი აქვთ ჰორიზონტალური და პერპენდიკულარულია ქარის მიმართულებისა[19].

1.5.3. ქარის ძრავის ფრთის ზედაპირის მუშაობა

ქარის ძალის ზემოქმედებისას.

ქარის სიჩქარე მუდმივად ცვალებადია სიდიდისა და მიმართულების მხრივ. ამ ცვალებადობის მიზეზია დედამიწის ზედაპირის არა თანაბარი გახურება და ადგილის რელიეფის უსწორმასწორობა.

ქარის კინეტიკური ენერგია იცვლება მისი სიჩქარის კუბის პროპორციულად:

$$\frac{mV^2}{2} = \frac{\rho FV^3}{2}; \quad (29)$$

სადაც ρ -არის ქარის სიმკვრივე; F -განივი კვეთის ფართი; V -ქარის სიჩქარე.

ქარის ენერგიის გამოყენების კოეფიციენტი:

$$\xi = C_x \left(1 - \frac{U}{V}\right)^2 \cdot \frac{U}{V}; \quad (30)$$

სადაც C_x -ფრთის საქარე წინაღობის ჰაეროდინამიკური კოეფიციენტი; U -ფრთის წრიული მოძრაობის სიჩქარე; V - ქარის საშუალო სიჩქარეა.

როგორც (30) - დან ჩანს. ξ - დამოკიდებულია ქარის მიმართულებაში ზედაპირის გადაადგილების სიჩქარეზე. თუ $U = 0$; მაშინ ქარის მიერ შესრულებული მუშაობა ნულის ტოლია; თუ $U = V$, მაშინ ზედაპირი გადაადგილდება ქარის სიჩქარით და მუშაობა იქნება ნული, რადგანაც არ არის წინაღობის ძალა. აქედან გამომდინარეობს, რომ ზედაპირის სიჩქარის მნიშვნელობა მოთავსებულია საზღვრებში $U = 0$ - დან $U = V$ - მდე. [2,5,6].

დადგენილია, რომ ξ -ის მაქსიმალური მნიშვნელობის მისაღებად ფრთის ზედაპირი უნდა გადაადგილდეს სიჩქარით:

$$U = \frac{1}{3} V; \quad (31)$$

ქარის ენერჯის გამოყენების მაქსიმალური კოეფიციენტი წინაღობის ძალით ზედაპირის მუშაობისას არ უნდა იყოს $\xi = 0,192$ -ზე მეტი.

1.6. ტყვია-მჟავიანი აკუმულატორული ბატარეის დამუხტვისა და განმუხტვის პროცესები ჰიბრიდულ ელექტროენერგეტიკულ სისტემასთან პარალელური მუშაობის პირობებში

ჰიბრიდული პარალელური ენერგოსისტემის ელექტრომომარაგების მდგრადი და სტაბილური რეჟიმების უზრუნველსაყოფად საჭიროა ტყვია-მჟავიანი აკუმულატორების გამოყენება, რომლებისთვისაც თანმხლებია მუდმივად დამუხტვისა და განმუხტვის პროცესები. ეს პროცესები მიმდინარეობს კონტროლიორის, სიმძლავრის რეგულატორის და შესაბამისი მართვის იმპულსების ზემოქმედებით [20].

აკუმულატორის ტევადობა განისაზღვრება იმ განმუხტვის $Q_{გა5}$ (ა.სთ) მუხტით, რომელიც მიიღება სრული განმუხტვისას $t_{გა5}$ (სთ) განმუხტვის დროისათვის, როცა განმუხტვის დენია $I_{გა5}$ (ა):

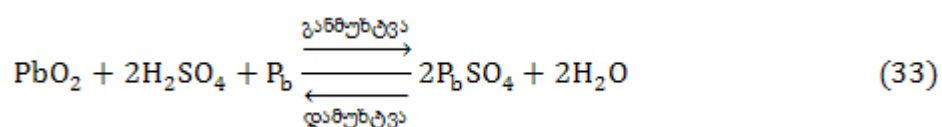
$$Q_{გან} = I_{გან} \cdot t_{გან} \quad (32)$$

აკუმულატორული ბატარეის ერთეულოვანი ელემენტის ძირითადი მახასიათებლებია: განმუხტვის ხანგრძლივობა $t_{გან}$ (სთ); ტევადობა- $Q_{გან}$ (ა.სთ); განმუხტვის დენი $I_{გან}$ (ა); განმუხტვის ძაბვის სასრული მნიშვნელობა $U_{გან}$ (ვ).

ქარხნები სტაციონალური დანადგარებისათვის ამზადებენ შემდეგი ტიპის ტყვია-მჟავიან ელემენტებს [21]: C (სტაციონალური ხანგრძლივი განმუხტვისათვის), CK(სტაციონალური ხანმოკლე განმუხტვისათვის), რომლებისგანაც ანზადებენ 110 და 220 ვ. ძაბვაზე აკუმულატორულ ბატარეებს.

აკუმულატორული ელემენტის ნომინალურ ტევადობად მიღებულია ტევადობა 10 საათიანი განმუხტვისას. იგი დამოკიდებულია განმუხტვის $I_{გან}$ დენზე. $I_{გან}$ -ის გადიდებით ტევადობა მცირდება და პირიქით.

აკუმულატორული ბატარეის ელექტროქიმიური დამუშავებისას დადებითად დამუხტულ ფირფიტასთან წარმოიშვება ტყვიის ზეჟანგი PbO_2 , ხოლო უარყოფით ფირფიტასთან კი - ტყვია. დამუხტვისა და განმუხტვის პროცესი წარმოადგენს შებრუნებულ რეაქციას:



განმუხტვის რეაქცია მიმდინარეობს გოგირდმჟავას ხსნარის დაშლით წყალბადის H_2 იონებად, მიმართული დადებითი ფირფიტისაკენ. ორთავე ფირფიტაზე წარმოიშვება გოგირდმჟავას ნაერთი ტყვიასთან $PbSO_4$ და გამოიყოფა თავისუფალი წყალი H_2O , რაც ადაბლებს ელექტროლიტის კონცენტრაციას. დამუხტვის პროცესი წარმოებს გარეშე მუდმივი დენის წყაროს ერთსახელა მომჭერებთან მიერთების შედეგად ბატარეაში დამუხტვის დენის გატარებისას.

გარეშე წყაროდან აკუმულატორულ ელემენტთან მიყვანილი დამუხტვის ძაბვა უნდა იყოს ელემენტის E ე.მ. ძალისა და მასში ძაბვის შიგა დანაკარგების ჯამისა, ე.ი.

$$U_{\text{დაზ}} = E + I_{\text{დაზ}} \cdot R_{\text{შოკ}} \quad (34)$$

ელემენტის ე.მ. ძალა იზრდება ელექტროლიტის სიმკვრივის გაზრდისას, ხოლო შიგა $R_{\text{შოკ}}$ წინაღობა მცირდება. დამუხტვა ითვლება დამთავრებულად, თუ გამოურთავ მდგომარეობაში მყოფი დამუხტველი კვების წყაროს ძაბვა ელემენტზე დამყარდება 2,15 ვ. და ელექტროლიტის სიმკვრივე მიაღწევს $1,21\text{გ/სმ}^3$ -ს, განმუხტვისას აკუმულატორული ელემენტის მომჭერებზე ძაბვა ტოლია:

$$U_{\text{გაწვ}} = E - I_{\text{გაწვ}} \cdot R_{\text{შოკ}} \quad (35)$$

განმუხტვა მიმდინარეობს ელექტროლიტის სიმკვრივისა და ე.მ. ძალის შემცირებით და შიგა წინაღობის გადიდებით. აკუმულატორული ბატარეის განმუხტვა დაიშვება ელემენტზე 1,95-1,97 ვოლტი ძაბვის არსებობამდე [23].

აკუმულატორები ხასიათდებიან ორი მ.ქ.კ.-ით:

ა) ტევადობის გაცემის მიხედვით $\eta_{\theta} = 0,85 \div 0,95$, რომელიც განისაზღვრება, როგორც აკუმულატორის განმუხტვისას გაცემული განმუხტვის $Q_{\text{გაწვ}}$ მუხტის რაოდენობის ფარდობა დამუხტვისას მოთხოვნილი $Q_{\text{დაზ}}$ - მუხტის რაოდენობასთან; ბ) ენერგიის გაცემის მიხედვით $\eta_w = 0,75 \div 0,8$, რომელიც განისაზღვრება, როგორც განმუხტვისას გაცემული $W_{\text{დაზ}}$ ენერგიის ფარდობა მისი დამუხტვისას დახარჯულ $W_{\text{დაწვ}}$ ენერგიასთან. როგორც ჩანს, ტევადობის მიხედვით მ.ქ.კ. მაღალია ენერგიის მიხედვით მ.ქ.კ.-ზე. განმუხტვისა და დამუხტვისას გაზების გამოყოფის გამო ტევადობის მიხედვით მ.ქ.კ. არ აღწევს ერთს. აკუმულატორული ბატარეის „თვითგანმუხტვა“ წარმოადგენს ელექტროლიტში გარეშე მავნე ნარევებისგან დამატებით ფიზიკურ-ქიმიურ მოვლენებს, რომლებიც იწვევენ ქიმიური ენერგიის დანაკარგებს [24].

(34),(35) ტოლობებიდან ვღებულობთ:

$$E = (U_{\text{დაზ}} \cdot I_{\text{გაწვ}} + U_{\text{გაწვ}} \cdot I_{\text{დაზ}}) / (I_{\text{გაწვ}} + I_{\text{დაზ}}) \quad (36)$$

$$R_{\text{შოკ}} = (U_{\text{დაზ}} - U_{\text{გაწვ}}) / (I_{\text{გაწვ}} + I_{\text{დაზ}}) \quad (37)$$

CK-1 ტიპის აკუმულატორული ბატარეისათვის დამახასიათებელია შემდეგი პარამეტრები:

- დამუხტვის ძაბვა - $U_{დატ} = 2,15$ ვ;
- დამუხტვის ხანგრძლივობა - $t_{დატ} = 10$ სთ;
- ტევადობა 36 ა.სთ;
- განმუხტვის დენი - $I_{გან} = 3,6$ ა;
- მაქსიმალური დამუხტვის დენი- $I_{დატ} = 9$ ა;
- დამუხტვის ძაბვა- $U_{გან} = 1,95$ ვ;

ამ პარამეტრების გათვალისწინება (36), (37)-ში გვაძლევს აკუმულატორული ბატარეის E ე.მ.ძალისა და მისი შიგა $R_{შიგ}$ წინარობის შემდეგ მნიშვნელობებს:

$$E=2,01 \text{ ვ}; \quad R_{შიგ} = 0,016 \text{ ომი.}$$

პრაქტიკაში იყენებენ ბატარეის მუდმივად ქვედამუხტის მეთოდს, რომლის დროსაც ჯერ აკუმულატორულ ბატარეას ერთ ელემენტზე მუხტავენ ორი დამუხტველ მოწყობილობით შესაბამისი ტევადობისა და მდგრადი 2,15 ვ. ძაბვის სიდიდის მიღწევამდე; შემდეგ კი- აკუმულატორული ბატარეა და ერთი დამუხტველი მოწყობილობა მუშაობენ პარალელურად მიერთებული მომხმარებელთა დატვირთვაზე. ამის გამო მუდმივად ქვედამუხტვის რეჟიმში მყოფი აკუმულატორული ბატარეა ყოველთვის შედის მუშაობის ავარიულ რეჟიმში სრულად დამუხტული.

თუ ექსპლუატაციის პროცესში ელექტროლიტის სიმკვრივე ელემენტის ჭურჭელში ნაკლები იქნება ან მეტი 1,2-1,21გ/სმ³-სიდიდეზე, მაშინ პირველ შემთხვევაში ჭურჭელში ამატებენ ელექტროლიტს საჭირო სიმკვრივით, ხოლო მეორე შემთხვევაში დისცილირებულ წყალს სპეციალური რეზინის, ან მინის მილით. წყლის ჩამატება ისე უნდა მოხდეს, რომ ელექტროლიტს ზემოდან არ უნდა მოხდეს წყალი. ჩამატება უნდა მოხდეს ბატარეის გამორთულ მდგომარეობაში ყოფნისას.

აკუმულატორული ბატარეის მუშაობა მუდმივად ქვედამუხტვის რეჟიმში უზრუნველყოფს ოპერატიული წრედების კვების საიმედოობას, მცირდება ფირფიტების სულფატაცია და მათი აქტიური მასის ჩამოცვენა ჭურჭლის ფსკერზე, რაც ახანგრძლივებს ბატარეების მუშაობის ვადებს [51].

1.7. იმპულსურ გარდამქნელიან ჰიბრიდული პარალელურ ელექტროენერგეტიკული სისტემის განზოგადებული სტრუქტურული და პრინციპული ელექტრული სქემების დამუშავება.

მზის, ქარის, დიზელგენერატორების და აკუმულატორული ბატარეის ენერჯების ერთდროული ან სელექციური გზით გამოყენება წარმოადგენს ძირითად საფუძველს, როგორც მუდმივი, ასევე ცვლადი ძაბვის ჰიბრიდული ენერგოსისტემის განვითარებისათვის.

ნახ.5-ზე წარმოდგენილია თანამედროვე ჰიბრიდული პარალელური ენერგოსისტემის განზოგადებული პერსპექტიული სტრუქტურული სქემა. იგი შედგება ფოტოელექტრული გარდამქმნელისაგან-1; მართვადი საკომუტაციო უკონტაქტო აპარატურისაგან **13 ÷ 26**; ქარის გენერატორისაგან - 2, აკუმულატორული ბატარეისაგან - 6; დიზელ-გენერატორისაგან - 3-4; დენის სამფაზა ინვერტორისაგან - 5; მუდმივ ძაბვად გარდამქმნელისაგან-10; სამფაზა ცვლადი დენის გამმართველისაგან - 11; სამფაზა ძალოვანი ტრანსფორმატორისაგან - 12; მართვის სისტემისაგან - 7; მუდმივი დენის დატვირთვისგან - 9; ცვლადი დენის დატვირთვისაგან - 8; მუდმივი ძაბვის ქსელისაგან - 27; ცვლადი ძაბვის ქსელისაგან - 28 [3,8].

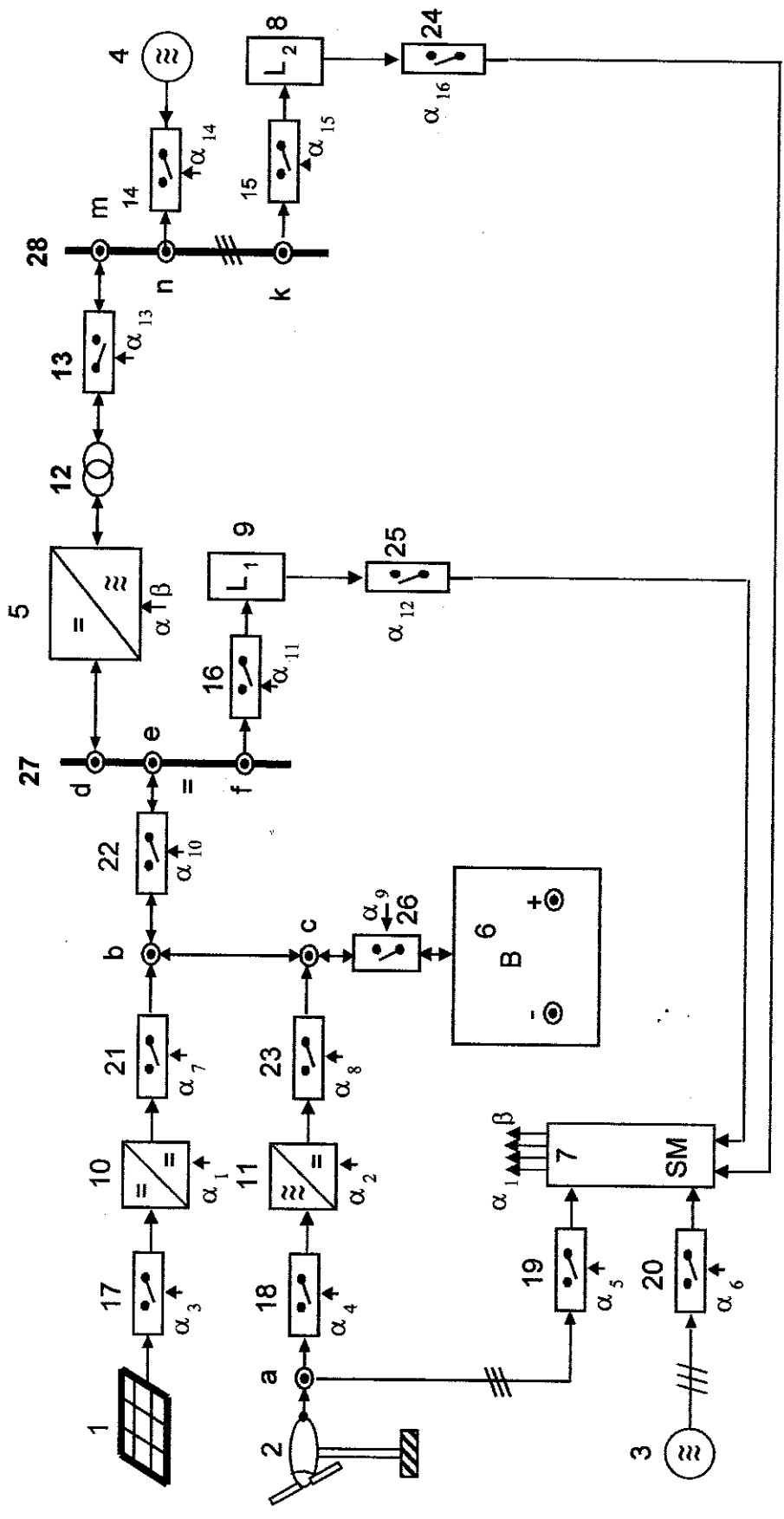
თუ ნახ.5-ზე ნაჩვენებ სქემაში დავტოვებთ მხოლოდ ელემენტებს: 1,5,6,8,9,12,13,15-17,22,26-28, მაშინ მიიღება თანამედროვე ჰიბრიდული

პარალელური ელექტროენერგეტიკული სისტემა მზის ფოტოელემენტებისა -1 და აკუმულატორული ბატარეის -6 ბაზაზე (ნახ.6).

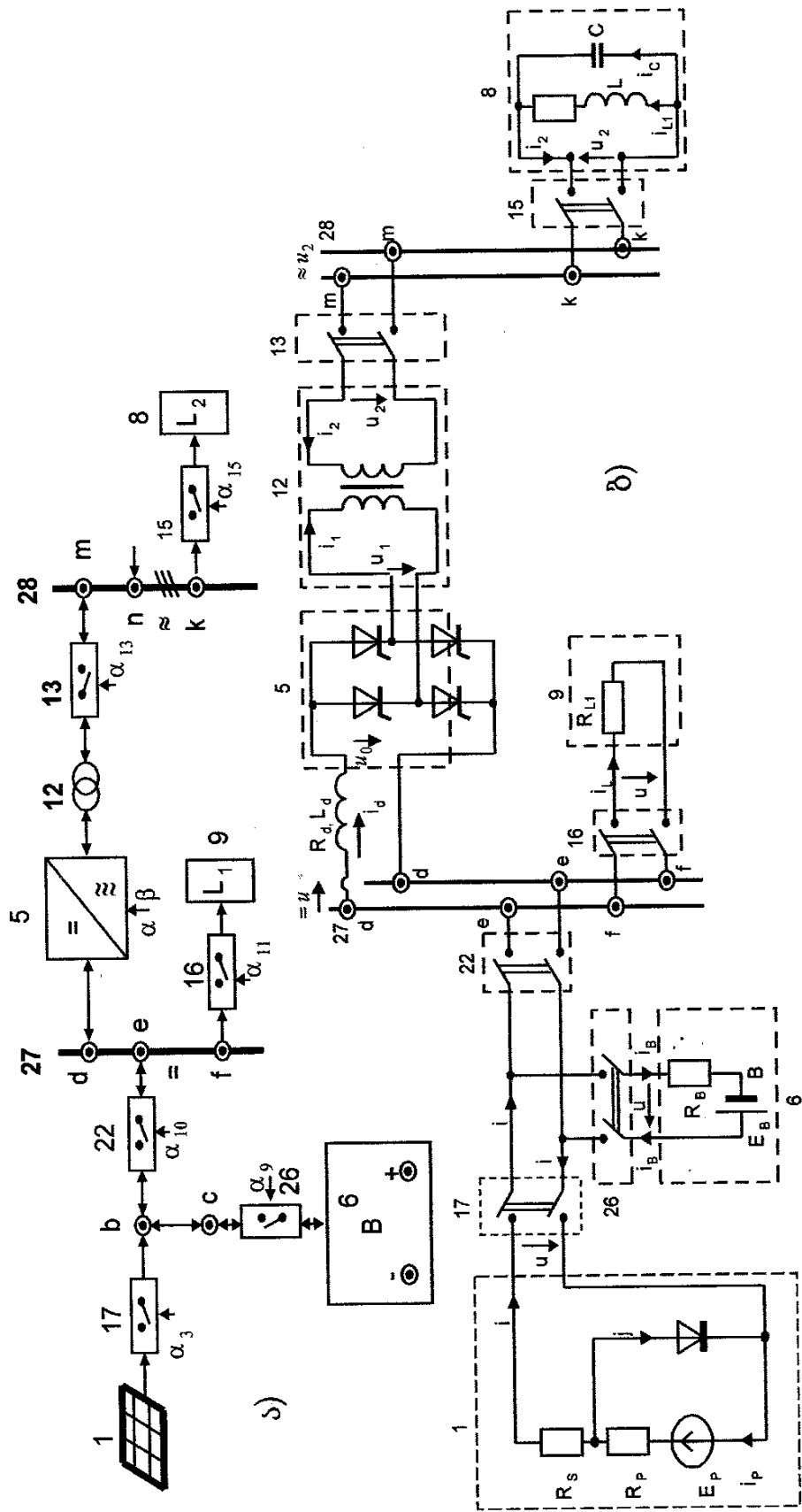
იმის მიხედვით, თუ როგორია კვების წყაროებისა და დატვირთვის სიმძლავრეთა თანაფარდობები, შესაძლებელია მუდმივი და ცვლადი ძაბვის ელექტროენერგეტიკული სისტემებში კვების წყაროების 1-6 სხვადასხვა კომბინაციით სექციონირება სპეციალური მუდმივი დენის იმპულსური გარდამსახის გამოყენებით. ნახ.7-ზე ნაჩვენებია მუდმივი დენის იმპულსურ გარდაქმნილიანი მუდმივი და ცვლადი დენის ერთფაზა ძაბვის ჰიბრიდული ენერგოსისტემის პარალელური მუშაობის ამსახველი პრინციპული ელექტრული სქემა, რომელშიც განხილულია შემთხვევა, როცა მუდმივი დენის ელექტროსისტემაში დატვირთვის მიერ მოთხოვნილი სიმძლავრე მზისა და აკუმულატორული ბატარეის ჯამურ სიმძლავრეზე ნაკლებია და u_2 ძაბვის ელექტროსისტემაში სიმძლავრის დეფიციტის არსებობის პირობებში იგი შეივსება არატრადიციული ენერჯის წყაროებიდან გარდაქმნილი ელექტრული ენერჯით.

იმპულსური გარდამქმნილიანი მუდმივი და ცვლადი დენის ერთფაზა ძაბვის ჰიბრიდული პარალელური ენერგოსისტემის პრინციპული ელექტრული სქემა ნაჩვენებია ნახ.7.ზე [12].

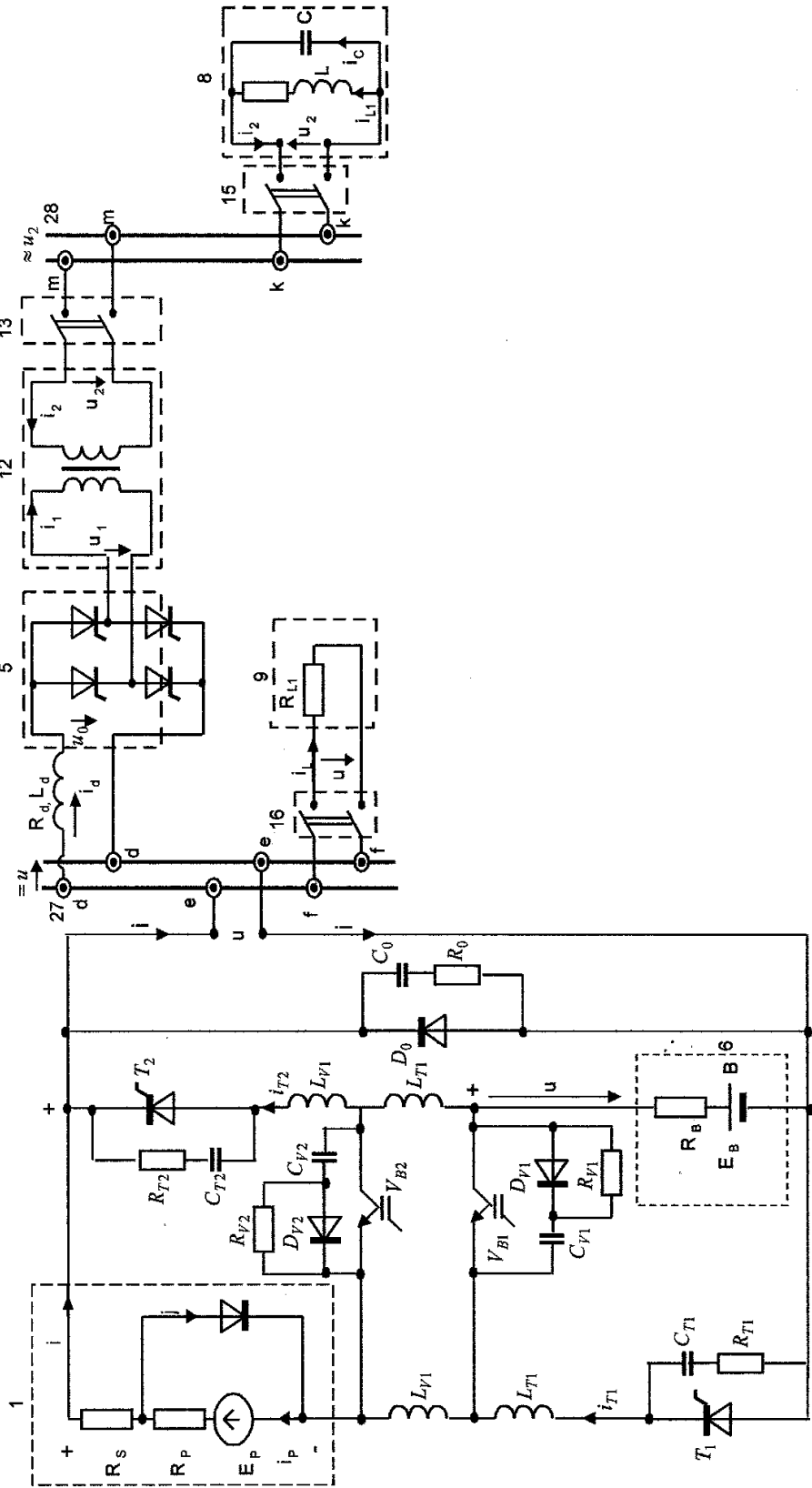
ნახ.7-ზე ნაჩვენები ელექტრული სქემის იმპულსური გარდამქმნელის მუშა მდგომარეობაში მყოფი ნახევარგამტარული ხელსაწყოების დენებისა და მუდმივი ძაბვის ქსელში u ძაბვის დიაგრამები ნაჩვენებია ნახ.8-ზე, ხოლო ამავე გარდამქმნელის კომუტაციის პროცესში დენების დიაგრამა, დემპფერული პროცესების გაუთვალისწინებლად ნაჩვენებია ნახ.9-ზე.



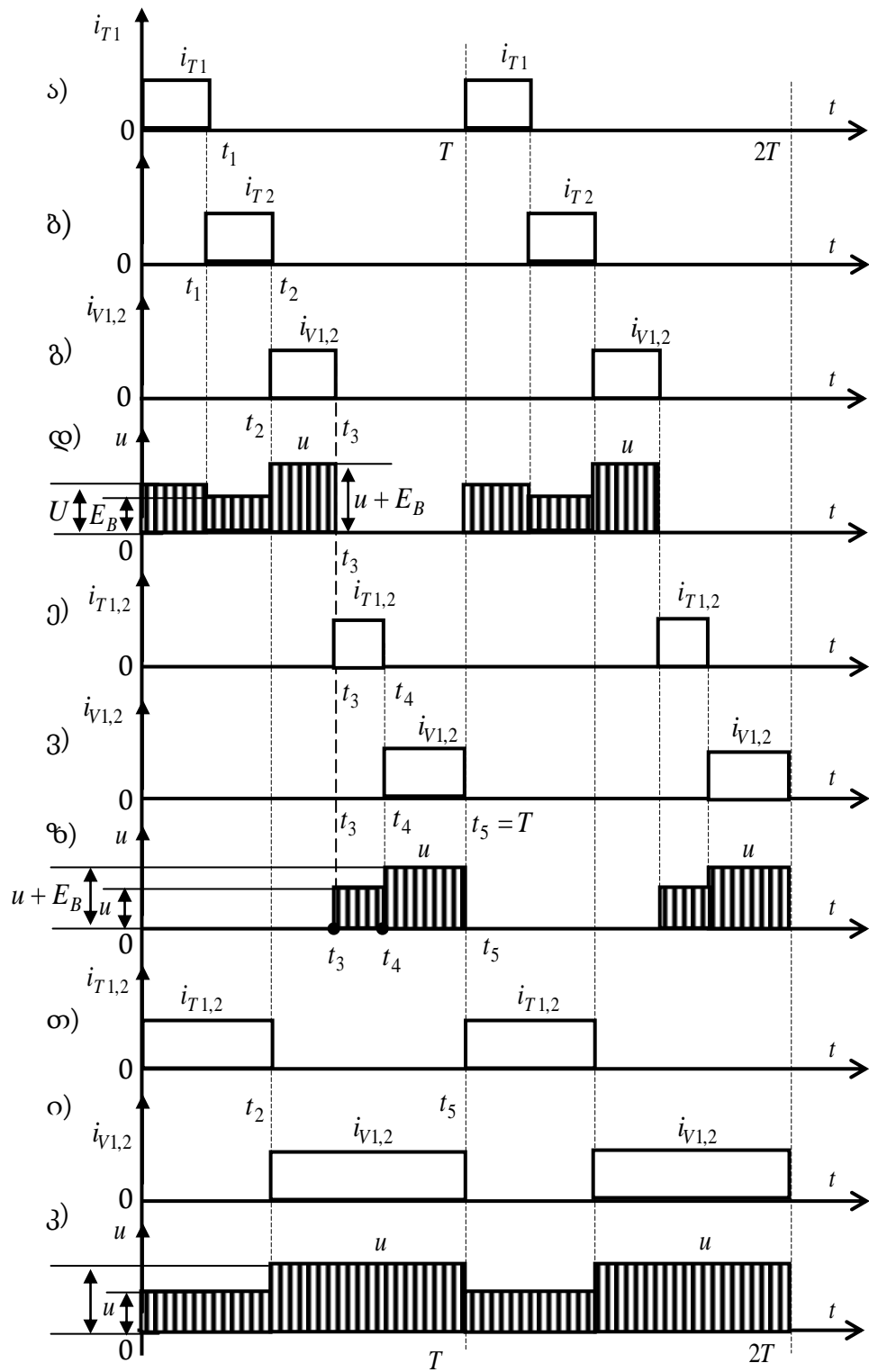
ნახ.5. თანამედროვე ჰიბრიდული პარალელური ენერგოსისტემის განზოგადებული სტრუქტურული სქემა



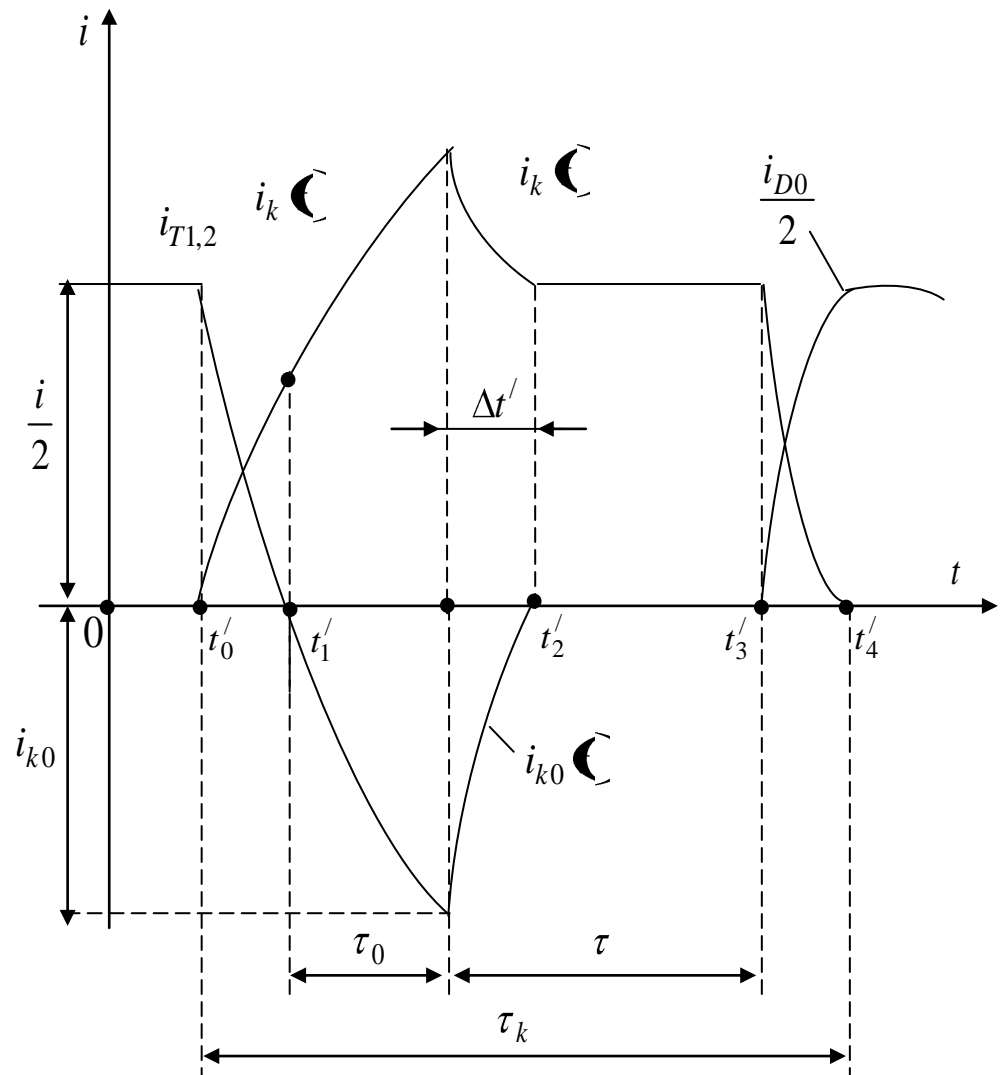
ნახ.6. განახლებადი ენერჯის წყაროების ბაზაზე მუდმივი და ცვლადი ძაბვის პარალელური ჰიბრიდული ენერგოსისტემა:
 ა) სამფაზა სტრუქტურული ბლოკსქემა; ბ) ერთფაზა პრინციპული ელექტრული სქემა



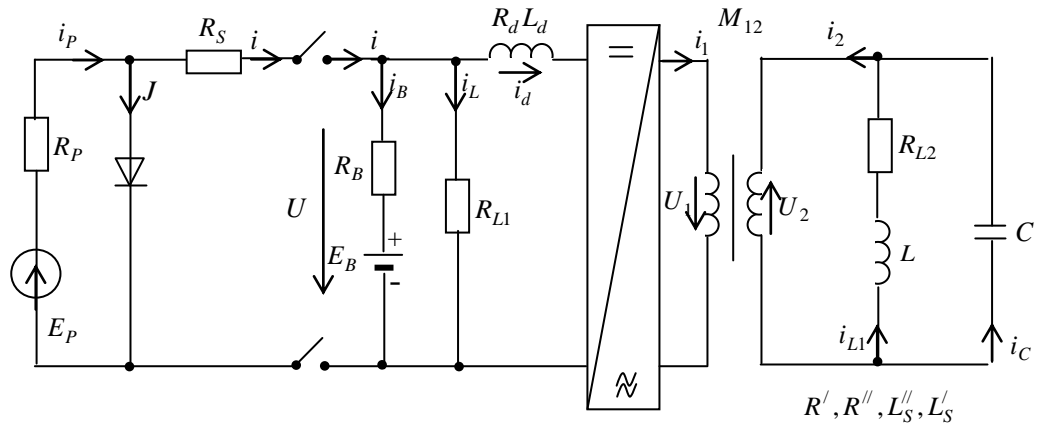
ნახ. 7. იმპულსური გარდაქმნელიანი მუდმივი და ცვლადი დენის ერთფაზა ძაბვის ჰიბრიდული პარალელური ენერგოსისტემების პრინციპული ელექტრული სქემა



ნახ.8 გამტარ მდგომარეობაში მყოფი ნახევარგამტარული ხელსაწყოების დენებისა და მუდმივი ძაბვის ქსელში u ძაბვის დიაგრამა



ნახ.9. იმპულსური გარდამქმნელის კომუტაციის პროცესებში დენების დიაგრამა დემპფერული პროცესების გაუთვალისწინებლად



ნახ.10. განახლებადი ენერჯის წყაროებიანი ავტონომიური ენერგოსისტემის პრინციპული ელექტრული სქემა

განახლებადი (მზის ფოტოელექტრული ელემენტისა და აკუმულატორული ბატარეის შემცველი) ენერჯის წყაროებიანი ავტონომიური ელექტროსისტემის პრინციპული ელექტრული საანგარიშო სქემა, რომელიც შეიცავს ერთფაზა დენის ინვერტორსა და R, L, C დატვირთვას, ნაჩვენებია ნახ.10-ზე.

ნახ. 5-10-ზე წარმოდგენილი პრინციპული ელექტრული სქემების საფუძველზე ჩატარებულია მათში მიმდინარე ელექტრომაგნიტური პროცესების გაანგარიშება და დამუშავებულია მათემატიკური და კომპიუტერული მოდულირების მეთოდიკა (მეორე თავი).

**თავი 2. არატრადიციული და განახლებადი ენერჯის
წყაროებიან მუდმივი და ერთფაზა ცვლადი დენის
ავტონომიურ ჰიბრიდულ ელექტროსისტემაში
ელექტრომაგნიტური გარდამავალი პროცესების მათემატიკური
და კომპიუტერული მოდელირება**

**2.1. არატრადიციული და განახლებადი ენერჯის
წყაროები საქართველოში**

საქართველოში მზის ენერჯის სრული წლიური პოტენციალი შეფასებულია 108 მგვტ-ით. მზის ფოტოელექტრულ გარდამქმნელების გამოყენება მიზანშეწონილია მხოლოდ მთაგორიან ადგილებში, ძნელად მისასვლელი და მცირედ დასახლებული ადგილების ელექტრომომარაგებისათვის.

მზის ეფექტური გამოსხივება საქართველოში საკმაოდ მაღალია. უმეტეს რაიონებში მზის ნათების წლიური ხანგრძლივობა 250-დან 280 დღემდე მერყეობს, რაც წელიწადში დაახლოებით $1900 \div 2200$ საათს შეადგენს.

საქართველოს გააჩნია ქარის ენერჯის მნიშვნელოვანი პოტენციალი, რომლის მეშვეობით ელექტროენერჯის საშუალო წლიური გამომუშავება საორიენტაციოდ 4 მლრდ.კვტ.სთ-ით, ხოლო დადგმული სიმძლავრე 1500 მგვტ-ით არის შეფასებული. ქარის ენერჯეტიკული ბუნებრივი პოტენციალის მიხედვით საქართველოს ტერიტორია დარაიონებულია მაღალ, საშუალო და დაბალ სიჩქარიან ზონებად, სადაც ქარის სიჩქარე წელიწადში 2,5 მ/წმ-დან 9,0 მ/წმ-მდე მერყეობს, სამუშაო დროის ხანგრძლივობა წელიწადში 4000-50000 სთ-ს შეადგენს. შერჩეულია ქარის ელექტროსადგურების განთავსების საუკეთესო ადგილები, რომლებიც საქართველოს თითქმის მთელ ტერიტორიას მოიცავს. ამჟამად მიმდინარეობს სამუშაოები პერსპექტიული ქარის ელექტროსადგურების

ტექნიკურ-ეკონომიკური დასაბუთებისათვის, რომლებიც შესაძლებელია განლაგდნენ : -იალლუჯას ქედზე (45 მგვტ, 110 მლნ.კვტ.სთ), მთა საბუეთზე - (100 მგვტ, 370 მლნ. კვტ.სთ), სამგორის ზეგანზე (45 მგვტ, 130 მლნ.კვტ.სთ), -გორის-სკრას მონაკვეთზე (90 მგვტ, 250 მლნ.კვტ.სთ), ქუთაისის მიმდებარე ტერიტორიაზე (90 მგვტ, 225 მლნ.კვტ.სთ) - მდინარე ფარავნისა და ჭოროხის ხეობებში - შესაბამისად 120 და 30 მგვტ დადგმული სიმძლავრითა და 336 და 90 მლნ.კვტ.სთ ელექტროენერჯის გამომუშავებით.

2.2. ნახ.6-ბ სქემით წარმოდგენილ ჰიბრიდულ სისტემაში ელექტრომაგნიტური გარდამავალი პროცესების მათემატიკური მოდელირება და აკუმულატორული ბატარეის დამუხტვა-განმუხტვის პროცესების რეგულირება

წარმოდგენილი განახლებადი ენერჯის წყაროებიანი ჰიბრიდული ენერჯოსისტემის სტრუქტურული და პრინციპული ელექტრული სქემა ითვალისწინებს მზის ბატარეების და აკუმულატორული ბატარეების ერთდროულ სელექციურ გამოყენებას[9].

წარმოდგენილ ენერჯოსისტემაში გარდამავალი პროცესების გაანგარიშებისა და გამოკვლევისათვის ვუმვებთ, რომ კომპუტატორი იდეალურია და ვენტილებად გამოყენებულია ძალოვანი ხელსაწყოები – ანისტორები. მოცემულ პარამეტრებად და სიდიდეებად წარმოდგენილია შესაბამისი n ელემენტების აქტიური წინაღობები – R_n , ინდუქციურობები – L_n , და ურთიერთინდუქციურობები – M_{kk}, M_{kn} , მზისა და აკუმულატორული ბატარეების ელექტრომამოძრავებელი ძალები (ე.მ.ძ.) – E_p, E_B , გარდამქმნელების გამოსავალზე ნომინალური ძაბვები – U_n ; ფოტოელექტრული გარდამქმნელის დენი – J ; ნახევარგამტარული გარდამქმნელების კომუტაციური ფუნქციები – $\Phi(t)$; ინვერტირებული

დენის კუთხური სიხშირე - ω ; ძალოვანი ტრანსფორმატორის პირველადი და მეორადი გრაგნილების ხვიათა რიცხვები - W_1, W_2 .

უცნობ სიდიდეებად წარმოდგენილია: სქემის ყველა შტოში დენების მყისა მნიშვნელობები - I_n ; წრედის შესაბამისი ელემენტების შესავალზე და გამოსავალზე ძაბვების მყისა მნიშვნელობები - U_n ; კონდენსატორული ბატარეების დენის მყისა მნიშვნელობები - i .

წარმოდგენილი სქემის (ნახ. 6,ბ) ზემოთ მოყვანილი პარამეტრებისა და სიდიდეების გათვალისწინებით ცვლადების მყისა მნიშვნელობების მიმართ დაწერილ განტოლებათა სისტემას აქვს შემდეგი სახე:

$$E_p - E_B = i_p R_p + i R_s + i_B R_B, \quad (38)$$

$$E_B = i_L R_{L1} - i_B R_B, \quad (39)$$

$$j = i_p - I, \quad (40)$$

$$i = i_B + i_L + i_d \quad (41)$$

$$u = i_L \cdot R_{L1} \quad (42)$$

$$u - u_0 = i_d R_d + \frac{L_d di_d}{dt} \quad (43)$$

$$u_0 = u_1 \Phi(t) \quad (44)$$

$$i_1 = i_d \Phi(t) \quad (45)$$

$$u_1 = i_1 R' + \frac{(L_s' + M^{11}) di_1}{dt} - \frac{M_{12} di_2}{dt} \quad (46)$$

$$-\frac{M_{12} di_1}{dt} = i_2 R'' + \frac{(L_s'' + M^{22}) di_2}{dt} + u_2 \quad (47)$$

$$u_2 = i_{L1} R_{L2} + \frac{L di_{L1}}{dt} \quad (48)$$

$$u_2 = \frac{1}{C} \int_0^t i_c dt \quad (49)$$

$$i_2 = i_{L1} + i_c \quad (50)$$

$$\Phi(t) = \frac{4}{\pi} \sum_{k=1}^{\infty} \frac{1}{k} \sin k \omega t \quad (51)$$

(38-51) განტოლებათა სისტემის ოპერატორული მეთოდით ამოხსნა იძლევა უცნობი სიდიდეების გამოსახულებებს ზოგად სახეში:

$$u(t) = \lambda_0 T_0 + a^{II} T_1 e^{-\delta_1 t} + T_2 T_{2u}^I e^{-\delta_2 t} \cos(\omega^I t + \varphi_{1u}^I) + T_3 T_{3u}^I e^{-\delta_3 t} \cos(\omega^{II} t + \varphi_{2u}^I), \quad (52)$$

$$i_B(t) = \left(\frac{\lambda_0 T_0}{R_R} - \frac{E_B}{R_R} \right) + \frac{a^{II} T_1}{R_R} e^{-\delta_1 t} + \frac{T_2 T_{2u}^I}{R_R} e^{-\delta_2 t} \cos(\omega^I t + \varphi_{1u}^I) + \frac{T_3 T_{3u}^I}{R_R} e^{-\delta_3 t} \cos(\omega^{II} t + \varphi_{2u}^I) \quad (53)$$

$$i_L(t) = \frac{\lambda_0 T_0}{R_{1,1}} + \frac{a^{II} T_1}{R_{1,1}} e^{-\delta_1 t} + \frac{T_2 T_{2u}^I}{R_{1,1}} e^{-\delta_2 t} \cos(\omega^I t + \varphi_{1u}^I) + \frac{T_3 T_{3u}^I}{R_{1,1}} e^{-\delta_3 t} \cos(\omega^{II} t + \varphi_{2u}^I) \quad (54)$$

$$i_d(t) = i_{d\varrho\delta y} + i_{d\sigma\delta}^I e^{-\delta_1 t} + i_{d\sigma\delta}^{II} e^{-\delta_2 t} \cos(\omega^I t + \varphi) \quad (55)$$

$$i(t) = i_{\varrho\delta y} + i_{\sigma\delta 1} e^{-\delta_1 t} + i_{\sigma\delta 2} e^{-\delta_2 t} + i_{\sigma\delta 3} e^{-\delta_3 t} \quad (56)$$

$$i_1(t) = \frac{4}{\pi} i_{d\varrho\delta y} \sin\omega t + \frac{4}{\pi} i_{d\sigma\delta}^I e^{-\delta_1 t} \sin\omega t + \frac{2}{\pi} i_{d\sigma\delta}^{II} e^{-\delta_2 t} \sin\omega t [(\omega + \omega^I)t + \varphi] + \frac{2}{\pi} i_{d\sigma\delta}^{III} e^{-\delta_2 t} \sin\omega t [(\omega - \omega^I)t - \varphi] \quad (57)$$

$$u_1(t) = \frac{4}{\pi} \sqrt{[u_1^I(t)]^2 + [u_1^{II}(t)]^2} \sin[\omega t + \beta(t)] \quad (58)$$

$$u_1^I(t) = a_0 T_0 + a_0^{II} T_1 e^{-\delta_1 t} + T_2 T_2^I e^{-\delta_2 t} \cos(\omega^I t + \varphi_1^I) + T_3 T_3^I e^{-\delta_3 t} \cos(\omega^{II} t + \varphi_2^I) \quad (59)$$

$$u_1^{II}(t) = a_0^I T_0 + b_0^{II} T_1 e^{-\delta_1 t} + T_2 T_2^I e^{-\delta_2 t} \cos(\omega^I t + \varphi_1^{II}) + T_3 T_3^I e^{-\delta_3 t} \cos(\omega^{II} t + \varphi_2^{II}) \quad (60)$$

$$\beta(t) = \arctg \left[\frac{u_1^{II}(t)}{u_1^I(t)} \right] \quad (61)$$

$$u_2(t) = -u_{2d\varrho\delta y} \cos(\omega t + \varphi_{2d\varrho\delta y} + \varphi_{2d\varrho\delta y}^I) + u_{2\sigma\delta}^I e^{-\frac{t}{\tau_0}} + u_{2\sigma\delta}^{II} e^{-\delta_1 t} \cos(\omega t + \varphi_{2\sigma\delta}^{II} - \varphi_{2\sigma\delta 1}^I) + e^{-\delta_2 t} (u_{2\sigma\delta}^{III} \cos[(\omega + \omega^I)t + \varphi_{2\sigma\delta}^{II} - \varphi_{2\sigma\delta 1}^{III}] + u_{2\sigma\delta}^{IV} \cos[(\omega - \omega^I)t + \varphi_{2\sigma\delta}^{IV} - \varphi_{2\sigma\delta 1}^{VI}]) \quad (62)$$

$$i_2(t) = -i_{2d\varrho\delta y} \cos(\omega t + \varphi_{2d\varrho\delta y}) + i_{2\sigma\delta}^I e^{-\frac{t}{\tau_0}} - i_{2\sigma\delta}^{II} e^{-\delta_1 t} \cos(\omega t + \varphi_{2\sigma\delta}^{II}) - e^{-\delta_2 t} (i_{2\sigma\delta}^{III} \cos[(\omega + \omega^I)t + \varphi_{2\sigma\delta}^{III}] +$$

$$+i_{2\text{თავ}}^{IV} \cos[(\omega - \omega^1)t + \varphi_{2\text{თავ}}^{IV}] \quad (63)$$

(52-63) გამოსახულებებში ყველა ექვივალენტური პარამეტრები განისაზღვრება ნახ. 6 ბ-ზე ნაჩვენები წრედის ცნობილი პარამეტრების გარკვეული წესის კომბინაციით.

$$(58) - \text{დან ჩანს, რომ } \frac{4}{\pi} \sqrt{[u_1^I(t)]^2 + [u_1^{II}(t)]^2} \text{ გამოსახულება წარმო -}$$

ადგენს ჩართული ავტონომიური ინვერტორის დატვირთვის ძაბვის ამპლიტუდურ მომვლეს, ხოლო $\beta(t)$ - ფაზურ ფუნქციას [11].

(57) გამოსახულება გარდაქმნის შედეგად წარმოიდგინება ასეთი სახით:

$$i_1(t) = \frac{4}{\pi} [i_{\text{დდაფე}}^I + i_{\text{დთავ}}^I e^{-\delta_1 t} + i_{\text{დთავ}}^{II} e^{-\delta_2 t} \cos(\omega^1 t + \varphi)] \sin \omega t \quad (64)$$

(58), (64) გამოსახულებებიდან ჩანს, რომ u_1 ძაბვასა და i_1 დენს შორის ფაზური კუთხე ტოლია $\beta(t)$ -ს.

(64) გამოსახულებებიდან ჩანს რომ:

$$\frac{4}{\pi} [i_{\text{დდაფე}}^I + i_{\text{დთავ}}^I e^{-\delta_1 t} + i_{\text{დთავ}}^{II} e^{-\delta_2 t} \cdot \cos(\omega^1 t + \varphi)]$$

წარმოადგენს i_1 დენის ამპლიტუდურ მომვლეს. იმავდროულად $u_1(t)$ წარმოადგენს ერთფაზა ძალური ტრანსფორმატორის შესავალ ძაბვას; ამიტომ $\cos[\beta(t)] = \lambda(t)$ წარმოადგენს ერთფაზა ძალური ტრანსფორმატორის სიმძლავრის დინამიურ კოეფიციენტს. ზოგადი სახით $\lambda(t)$ გამოსახულებისთვის გვაქვს [22]:

$$\lambda(t) = \frac{\int_0^T u_1(t) i_1(t) dt}{\sqrt{\int_0^T i_1^2(t) dt \int_0^T u_1^2(t) dt}} \quad (65)$$

თუ ავტონომიური ინვერტორის გამომავალი ძაბვა, ან რაც იგივეა, ერთფაზა ძალური ტრანსფორმატორის შესავალი ძაბვა მოცემულია $u_1 = U_{1m} \sin(\omega + \psi_1)$ სახით, მაშინ (65) გამოსახულების საფუძველზე წრედის მოცემული პარამეტრების შემთხვევაში ძალური ტრანსფორმატორის სიმძლავრის დინამიური კოეფიციენტის გამოსახულება წარმოიდგინება ასე:

$$\lambda(t) = \frac{f(t)}{\Phi(t)} \quad (66)$$

სადაც $f(t)$; და $\Phi(t)$; გამოსახულებებისთვის გვაქვს:

$$f(t) = a^I t + b^I - d_1^I \sin(\omega t + \psi_1 + \arctg \omega \tau_1) \cdot e^{-\frac{t}{\tau_1}} + d_2^I \sin(\omega t + \psi_1 + \arctg \omega \tau_2) \cdot e^{-\frac{t}{\tau_2}} \quad (67)$$

$$\Phi(t) = \frac{U_{1m}}{\sqrt{2}} \left\{ at + b - c_1 e^{-\frac{t}{\tau_1/2}} - c_2 e^{-\frac{t}{\tau_2/2}} + c_3 e^{-\frac{t}{\tau_1 \tau_2 / (\tau_1 + \tau_2)}} - d_1 \sin(\omega t + \theta + \arctg \omega \tau_1) e^{-\frac{t}{\tau_1}} + d_2 \sin(\omega t + \theta + \arctg \omega \tau_2) e^{-\frac{t}{\tau_2}} \right\}^{\frac{1}{2}} \quad (68)$$

(67,68) გამოსახულებებში $a, a^I, b, b^I, d_1, d_1^I, d_2, d_2^I, c_1, c_2, c_3, \theta, \tau_1, \tau_2,$

ექვივალენტური კოეფიციენტებისათვის გვაქვს შემდეგი გამოსახულებები:

$$a = \frac{I_{1m}^2}{2T}$$

$$b = \frac{\tau_1 (I_{1m}^I)^2}{2T} + \frac{\tau_2 (I_{1m}^{II})^2}{2T} - \frac{2\tau_1 \tau_2 I_{1m}^I I_{1m}^{II}}{(\tau_1 + \tau_2)T} + \frac{2\tau_1 I_{1m} I_{1m}^{II}}{T\sqrt{1 + (\omega \tau_1)^2}} \sin(\theta + \arctg \omega \tau_1) - \frac{2\tau_2 I_{1m} I_{1m}^{II}}{T\sqrt{1 + (\omega \tau_2)^2}} \sin(\theta + \arctg \omega \tau_2);$$

$$c_1 = \frac{\tau_1 (I_{1m}^I)^2}{2T}; \quad c_2 = \frac{\tau_2 (I_{1m}^{II})^2}{2T}; \quad c_3 = \frac{2\tau_1 \tau_2 I_{1m}^I I_{1m}^{II}}{(\tau_1 + \tau_2)T};$$

$$d_1 = \frac{2\tau_1 I_{1m} I_{1m}^{II}}{T\sqrt{1 + (\omega \tau_1)^2}}; \quad d_2 = \frac{2\tau_2 I_{1m} I_{1m}^{II}}{T\sqrt{1 + (\omega \tau_2)^2}}; \quad a^I = \frac{1}{2T} U_{1m} I_{1m} \cos(\psi_1 - \theta);$$

$$b^I = \frac{\tau_1 U_{1m} I_{1m}^I}{T\sqrt{1 + (\omega \tau_1)^2}} \sin(\psi_1 + \arctg \omega \tau_1) - \frac{\tau_2 U_{1m} I_{1m}^{II}}{T\sqrt{1 + (\omega \tau_2)^2}} \sin(\psi_1 + \arctg \omega \tau_2);$$

$$d_1^I = \frac{\tau_1 U_{1m} I_{1m}^I}{T\sqrt{1 + (\omega \tau_1)^2}}; \quad d_2^I = \frac{\tau_2 U_{1m} I_{1m}^{II}}{T\sqrt{1 + (\omega \tau_2)^2}};$$

$$\theta = \arctg \left(\frac{\omega b_1}{b_0 - \omega^2 b_2} \right) + \arctg \frac{\omega}{\delta_1} + \arctg \frac{\omega}{\delta_2};$$

$$\tau_1 = \frac{1}{|\delta_1|}; \quad \tau_2 = \frac{1}{|\delta_2|}; \quad \delta_{1,2} = \frac{-a_1 \pm \sqrt{a_1^2 - 4a_0 a_2}}{2a_2};$$

ამ ბოლო გამოსახულებებში ყველა დამხმარე კოეფიციენტი და პარამეტრი განისაზღვრება წრედის მოცემული პარამეტრების მიხედვით:

$$I_{1m} = U_{1m} \frac{1}{\omega a_2} \sqrt{\frac{(b_0 - \omega^2 b_2)^2 + \omega^2 b_1^2}{(\omega^2 + \delta_1^2)(\omega^2 + \delta_2^2)}};$$

$$I_{1m}^I = U_{1m} \frac{1}{a_2} \frac{b_2 \delta_1^2 + b_1 \delta_1 + b_0}{(\omega^2 + \delta_1^2)(\delta_1 - \delta_2)};$$

$$I_{1m}^{II} = U_{1m} \frac{1}{a_2} \frac{b_2 \delta_2^2 + b_1 \delta_2 + b_0}{(\omega^2 + \delta_2^2)(\delta_1 - \delta_2)};$$

$$T = 4,5\tau_1, \quad b_0 = \omega R_{II} \cos \psi_1$$

$$b_1 = Z_{II} \sin \left(\psi_1 + \arctg \frac{X_{II}}{R_{II}} \right); \quad b_2 = L_{II} \sin \psi_1;$$

$$a_2 = L_1 L_{II} - M_{12}^2; \quad R_{II} = R^H + R_{L2}; \quad X_{II} = \omega(L_s^H + M^{22} + L);$$

$$Z_{II} = \sqrt{R_{II}^2 + X_{II}^2}; \quad L_{II} = L_s^H + M^{22} + L; \quad L_I = L_s^I + M^{11};$$

$\beta(t)$ ფაზური ფუნქცია შესაბამის გამოსახულებებში განსაზღვრავს ერთფაზა ძალურ ტრანსფორმატორში ძაბვისა და დენის ნულზე გადასვლის წერტილებს შორის დროის მონაკვეთს. შესაბამისად, $\beta(t)$ ფაზური ფუნქცია გამომავალი დენის ნულზე გადასვლის წერტილებში განსაზღვრავს ვენტილების ჩაკეტვის კუთხეებს; ამის გამო $\beta(t)$ წარმოადგენს ვენტილების ჩაკეტვის კუთხის დისკრეტული მნიშვნელობების მომვლეს [24-26].

ამგვარად, თუ ვიცით ინვერტორული და ტრანსფორმატორული სქემების ექვივალენტური პარამეტრები, (59-61) გამოსახულებების საფუძველზე შესაძლებელია განისაზღვროს გარდამავალ პროცესებში ვენტილების ჩაკეტვის კუთხის ცვლილების ხასიათი.

ვენტილების ჩაკეტვის კუთხის ცვლილების მიღებული კანონზომიერების შედარება მის მინიმალურ – დასაშვებ მნიშვნელობასთან გვაძლევს საფუძველს განვსაზღვროთ, მდგრადია თუ არა მოცემული პარამეტრების შემთხვევაში გარდამავალ პროცესში ნახევარგამტარული გარდამქმნელების მუშაობა.

დამყარებულ პროცესში (როცა $t \rightarrow \infty$) ელექტრული სიდიდეების მიღებული გამოსახულებებისათვის გვაქვს:

$$u(t) = \lambda_0 T_0; \quad i(t) = i_{d\alpha\beta}; \quad i_B(t) = \frac{1}{R_B} (\lambda_0 T_0 - E_B); \quad i_L(t) = \frac{\lambda_0 T_0}{R_{L1}};$$

$$i_d(t) = i_{d\alpha\beta}; \quad i_1(t) = \frac{4}{\pi} i_{d\alpha\beta} \sin \omega t; \quad u_1^I(t) = a_0 T_0; \quad u_1^{II}(t) = a_0^I T_0;$$

$$u_1(t) = \frac{4}{\pi} U_{m1} \sin[\omega t + \varphi_1(0)]; \quad i_2(t) = -i_{\text{დაბყ2}} \cos(\omega t + \varphi_{\text{დაბყ2}});$$

$$u_2(t) = -i_{\text{დაბყ2}} \sqrt{(\omega L)^2 + R_{L2}^2} \cos\left(\omega t + \varphi_{\text{დაბყ2}} + \arctg \frac{\omega L}{R_{L2}}\right);$$

$$\beta(t) = \arctg \frac{a_0^I}{a_0}$$

$$a_0 = R^I [(R^{II} + R_{L2})^2 + \omega^2 (L + L_s^{II} + M^{22})^2] - \omega^2 (M_{12} M_{21}) (R^{II} + R_{L2});$$

$$a_0^I = \omega (L_s^I + M^{11}) (R^{II} + R_{L2})^2 +$$

$$+ \omega^3 (L + L_s^{II} + M^{22}) [M_{12} M_{21} + (L_s^I + M^{11}) (L + L_s^{II} + M^{22})];$$

$$i_{\text{დაბყ}} = \frac{A_0}{B_0}; \quad T_0 = \frac{A_0}{B_0 b_0}; \quad \varphi_1(0) = \arctg \frac{a_0^I}{a_0}; \quad \lambda_0 = R_d b_0 + \frac{8}{\pi^2} a_0$$

$$i_{\text{დაბყ}} = i_{\text{დაბყ}} + \lambda_0 T_0 \frac{R_B + R_{L1}}{R_R R_{L1.1}} - \frac{E_B}{R_R};$$

$$i_{\text{დაბყ2}} = \frac{4}{\pi_0} \frac{\lambda^{II}}{\sqrt{(1 + \omega^2 \tau_0^2)}} \cdot i_{\text{დაბყ}}; \quad \varphi_{\text{დაბყ2}} = \arctg \frac{1}{\omega \tau_0};$$

განხილულ ენერგოსისტემაში (ნახ. 6,ბ) აკუმულატორული ბატარეის დამუხტვის პროცესი მთავრდება და მუდმივი და ცვლადი დენის წრედში ენერგიის გადასაცემად განმუხტვის პროცესი იწყება შემდეგი პირობის დაცვის შემთხვევაში:

$$E_B = \frac{E_p - I_0 \left(e^{\frac{v}{A\varphi}} - 1 \right) R_p}{1 + \frac{R_p + R_s}{R_{L1} (R_d + R_{\text{გოგ}})}}; \quad (69)$$

(69) გამოსახულებაში I_0 ელექტრონულ-ხვრელური გადასვლის გაჯერების დენია; A – დიოდური კოეფიციენტი; $\varphi = \frac{kT}{e}$; k – ბოლცმანის მუდმივაა, T – მუშა ტემპერატურა, e – ელექტრონის მუხტია [2]. J დენისთვის გვაქვს:

$$J = I_0 \left(e^{\frac{v}{A\varphi}} - 1 \right) \quad (70)$$

(70) გამოსახულება წარმოადგენს მზის ბატარიების მახასიათებელ განტოლებას.

აკუმულატორული ბატარეის დამუხტვისას ფოტოელექტრული გარდამქმნელისგან მოთხოვნილი სიმძლავრე ასე გამოისახება:

$$P_B = \frac{\lambda_0^2 T_0^2}{R_B} - \frac{E_B \lambda_0 T_0}{R_B} \quad (71)$$

(71)-ში წრედის ცნობილი პარამეტრებით განსაზღვრული ექვივალენტური პარამეტრების გათვალისწინებით P_B -ს ექსტრემალური მნიშვნელობისთვის მივიღებთ გამოსახულებას[27]:

$$P_B = \frac{E_{\text{გვ3}}}{R_R} (E_{\text{გვ3}} - E_B), \quad (72)$$

სადაც (72)-ში $E_{\text{გვ3}}$ -ის გამოსახულებისთვის გვაქვს:

$$E_{\text{გვ3}} = \frac{E_p - I_0 \left(e^{\frac{v}{A\phi}} - 1 \right) R_p + E_B \frac{R_p + R_s}{R_B}}{2 \left[1 + \frac{R_p + R_s}{R_{L1}} + \frac{I_0 \left(e^{\frac{v}{A\phi}} - 1 \right) R_p - E_p}{E_B} \right]}; \quad (73)$$

R_{L1} წინააღმდეგობაზე მოთხოვნილი სიმძლავრე გამოითვლება[28 ÷ 31]:

$$P_{L1} = \frac{(E_{\text{გვ3}}^1)^2}{R_{L1}} \left(\frac{R_d + R_{\text{გვ3}}}{R_p + R_s + K_R R_{\text{გვ3}}} \right)^2; \quad (74)$$

სადაც (74)-ში:

$$E_{\text{გვ3}}^1 = E_p - I_0 \left(e^{\frac{v}{A\phi}} - 1 \right) R_p + E_B \frac{R_p + R_s}{R_B}; \quad (75)$$

$$R_{\text{გვ3}} = \frac{8}{\pi^2} \left(R^I - \frac{(R^{II} + R_{L2}) \omega^2 M_{12} M_{21}}{(R^{II} + R_{L2})^2 + \omega^2 (L + L_s^I + M^{22})^2} \right). \quad (76)$$

განხილულ ენერგოსისტემაში ერთფაზა ძალური ტრანსფორმატორისთვის დენებისა და ძაბვების ძირითადი ჰარმონიკების მიმართ ელექტრომაგნიტური პროცესების გამოკვლევის მიზნით მივიღებთ შესაბამისი ელექტრული სიდიდეების კომპლექსურ გამოსახულებებს:

$$\dot{i}_1 = \dot{U}_1 \frac{1}{Z_{\text{გვ3}}} e^{-j\varphi_{\text{გვ3}}} \quad (77)$$

$$\dot{i}_2 = \dot{U}_2 \frac{\omega L_{12}}{Z_{11} Z_{\text{გვ3}}} e^{j(\pi + \varphi_{21})} \quad (78)$$

$$\dot{U}_2 = \dot{U}_1 K_u e^{-j(\pi + \varphi_u)} \quad (79)$$

$$\dot{i}_2 = \dot{i}_1 \frac{\omega L_{12}}{Z_{11}} e^{2j \left(\frac{\pi}{2} + \arctg \frac{R_{11}}{X_{11}} \right)} \quad (80)$$

$$\dot{U}_2 = \dot{I}_1 \frac{X_m}{Z_{11}} \sqrt{Z_2^2 - 2(R_2 X_{11} + R_1 X_2)} e^{-j(\pi + \varphi_{12}^I)} \quad (81)$$

$$\dot{I}_2 = \dot{U}_2 \frac{Z_{11}}{\sqrt{Z_{11}^2 Z_{\text{მომლ}}^2 - 4R_{11} R_{\text{მომლ}} X_{11} X_{\text{მომლ}}}} e^{-j(\varphi_u - \varphi_{21})}, \quad (82)$$

სადაც (77-82) გამოსახულებებში ექვივალენტური წინააღობებისთვის და კუთხეებისთვის გვაქვს:

$$Z_{\text{მეს}} = \sqrt{R_{\text{მეს}}^2 + X_{\text{მეს}}^2}; \quad Z_{\text{II}} = \sqrt{R_{\text{II}}^2 + X_{\text{II}}^2}; \quad \varphi_{\text{მეს}} = \text{arctg} \frac{X_{\text{მეს}}}{R_{\text{მეს}}};$$

$$\varphi_{21} = \text{arctg} \left(\frac{1 - \frac{X_{\text{II}}}{R_{\text{II}}} \cdot \frac{X_{\text{მეს}}}{R_{\text{მეს}}}}{\frac{X_{\text{II}}}{R_{\text{II}}} + \frac{X_{\text{მეს}}}{R_{\text{მეს}}}} \right);$$

$$\varphi_u = \text{arctg} \left(\frac{R_{\text{მეს}}(R_{11} R_{\text{მომლ}} - X_{11} X_{\text{მომლ}}) - X_{\text{მეს}}(R_{\text{მომლ}} X_{11} - R_{11} X_{\text{მომლ}})}{R_{\text{მეს}}(X_{11} R_{\text{მომლ}} - R_{11} X_{\text{მომლ}}) + X_{\text{მეს}}(R_{\text{მომლ}} R_{11} - X_{11} X_{\text{მომლ}})} \right);$$

$$Z_{\text{მომლ}} = \sqrt{R_{\text{მომლ}}^2 + X_{\text{მომლ}}^2}; \quad K_u = \frac{\omega L_{12}}{Z_{\text{მეს}} Z_{\text{II}}} \sqrt{Z_{\text{II}}^2 Z_{\text{მომლ}}^2 - 4R_{11} R_{\text{მომლ}} - X_{11} X_{\text{მომლ}}};$$

$$\varphi_{12}^I = \text{arctg} \left[\frac{Z_{\text{II}}^2 - (R_2 X_{11} + R_{11} X_2)}{X_2 X_{11} - R_{11} R_2} \right] \quad Z_2 = \sqrt{(R^{II})^2 + \omega^2 (L_s^{II} + M^{22})^2}$$

$$R_2 = R^{II}, \quad R_1 = R^I, \quad R_{\text{მომლ}} = R_{L2}; \quad X_{\text{მომლ}} = \omega L; \quad X_2 = \omega (L_s^{II} + M^{22});$$

$$R_{\text{II}} = R^{II} + R_{L2}, \quad X_1 = \omega (L_s^I + M^{11}); \quad X_{\text{II}} = \omega (L_s^{II} + M^{22}) + \omega L;$$

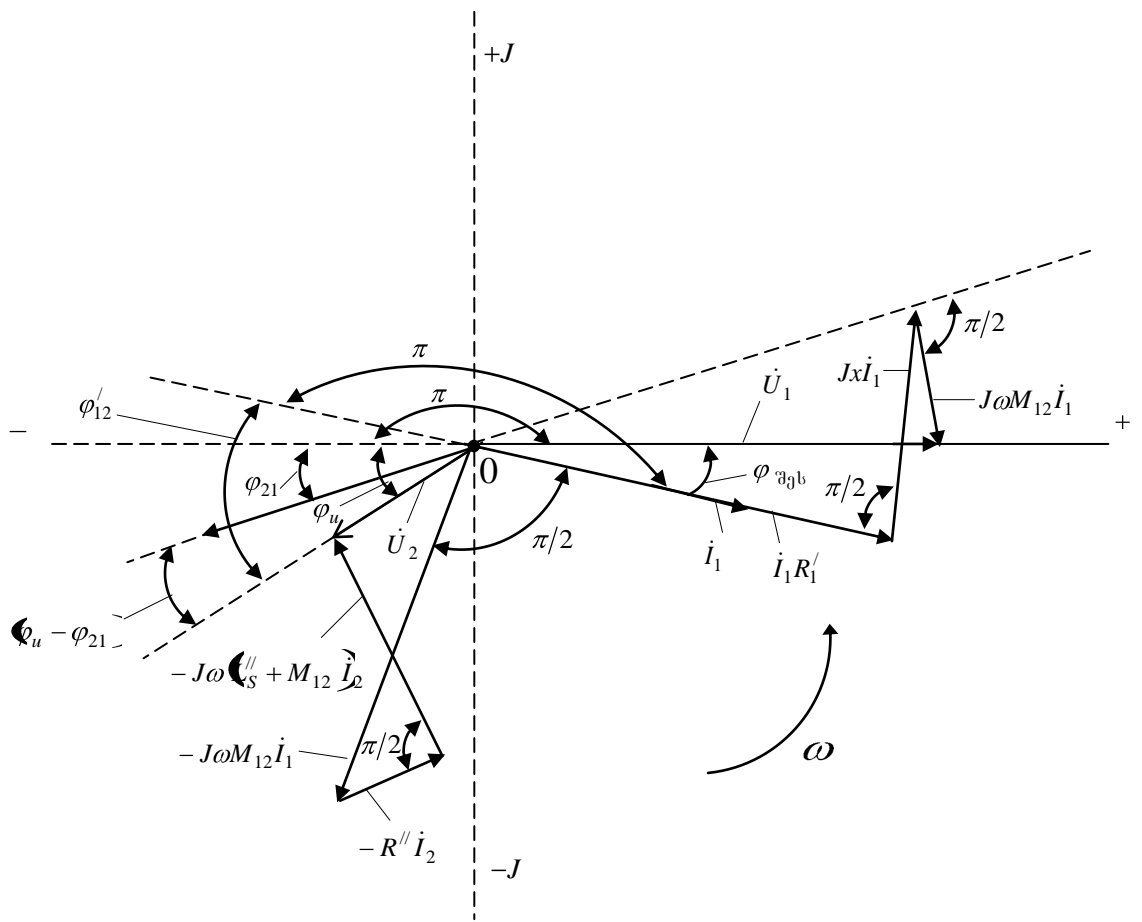
მიღებული (77-82) გამოსახულებები იძლევა შესაძლებლობებს, აგებული იქნას აღნიშნული ერთფაზა ძალური ტრანსფორმატორისთვის ძაბვებისა და დენების განზოგადებული ვექტორული დიაგრამა (ნახ. 11) [32 ÷ 35]:

$R_{\text{მეს}}$ და $X_{\text{მეს}}$ წინააღობებისთვის გვაქვს შემდეგი გამოსახულებები:

$$R_{\text{მეს}} = R^I + \frac{\omega^2 M_{12} M_{21} R_{\text{II}}}{Z_{\text{II}}^2} \quad X_{\text{მეს}} = X^I - \frac{\omega^2 M_{12} M_{21} X_{\text{II}}}{Z_{\text{II}}^2}$$

როგორც განზოგადებული ვექტორული დიაგრამიდან ჩანს (ნახ. 11), ძაბვებისა და დენების ვექტორებს შორის კუთხეებია:

$$\dot{I}_1^{\wedge} \dot{U}_1 \rightarrow -\varphi_{\text{მეს}}; \quad \dot{I}_2^{\wedge} \dot{U}_1 \rightarrow \pi + \varphi_{21}; \quad \dot{U}_2^{\wedge} \dot{U}_1 \rightarrow \pi + \varphi_u;$$



ნახ.11 განახლებადი ენერჯის წყაროებიანი ავტონომიური ენერგოსისტემის ერთფაზა ტრანსფორმატორის ძაბვებისა და დენების განზოგადებული ვექტორული დიაგრამა და დენების განზოგადოებული ვექტორული დიაგრამა

2.3. ნახ.6-ბ სქემით წარმოდგენილ ჰიბრიდულ სისტემაში ელექტრომაგნიტური გარდამავალი პროცესების მოდელის სტრუქტურული სქემის აგება

წარმოდგენილია მუდმივი და ცვლადი ძაბვის ავტონომიური ჰიბრიდული ენერგოსისტემა, რომელიც შედგება (ნახ. 6,ბ): ფოტოელექტრული გარდამქმნელისაგან (ფეგ); მართვადი საკომუტაციო უკონტაქტო აპარატურებისაგან – 13, 15, 16, 17, 22, 26; აკუმულატორული ბატარეებისაგან – 6; დენის ერთფაზა ინვერტორისაგან – 5; ერთფაზა ძალური ტრანსფორმატორისაგან – 12; მუდმივი – 9 და ცვლადი – 8 ძაბვის

დატვირთვებისგან; მუდმივი – 27 და ცვლადი – 28 ძაბვის ქსელისგან (ნახ. 6 – ა, ბ).

ჰიბრიდული ენერგოსისტემის მუშაობის მდგრადობა და იმედიანობა ბევრად და დამოკიდებული გარდამავალი პროცესების რეგულირების ხარისხზე [24].

ცვლად და მუდმივ კოეფიციენტებიან დიფერენციალურ განტოლებათა სისტემის გათვალისწინებით გარდამავალი პროცესების უფრო ზუსტი გაანგარიშებისთვის ვიყენებთ კომპიუტერული მოდელირების თანამედროვე მეთოდს, რაც საშუალებას გვაძლევს გავაანალიზოთ შესასწავლი პროცესების ფიზიკურ არსსა და მათ მათემატიკურ აღწერილობებს შორის კავშირი.

მათემატიკური და კომპიუტერული მოდელირებისთვის სქემაში (ნახ. 6,ბ) მოცემულ პარამეტრებად და სიდიდეებად გვაქვს: $R_p, R_s, R_B, R_{L1}, R_L, R^1, R^{11}, R_d$ – შესაბამისად, მზისა და აკუმულატორული ბატარეებისთვის, მუდმივი და ცვლადი დენის დატვირთვებისთვის, ერთფაზა ძალური ტრანსფორმატორის პირველადი და მეორადი გრაგნილებისთვის და დენის ინვერტორის შესავალზე ჩართული გამაგლუვებელი დროსელისთვის აქტიური წინააღობები;

$-L_d, L_s^1, L_s^{11}, L, M^{11}, M^{22}, M_{12} = M_{21}, C$ – შესაბამისად, დროსელისთვის, ერთფაზა ტრანსფორმატორის პირველადი და მეორადი გრაგნილებისთვის და ცვლადი დენის დატვირთვისთვის ინდუქციურობებია; პირველადი და მეორადი გრაგნილების თვითინდუქციის კოეფიციენტები; რეაქტიული სიმძლავრის კომპენსაციისთვის ტევადობა;

$-E_p, E_B$, – მზისა და აკუმულატორული ბატარეების ელექტრომომძრავებელი ძალები (ე.მ.ძ.);

U – ფეგ-ის გამოსავალზე ნომინალური ძაბვა;

$J = mI_0 \left(e^{\frac{U}{A\varphi n}} - 1 \right)$ სადაც: I_0 ელექტრონულ-ხვრელური გადასვლის გაჯერების დენია, A – დიოდური კოეფიციენტი; $\varphi = \frac{kT}{e}$, k – ბოლცმანის მუდმივა, T – მუშა ტემპერატურა, e – ელექტრონის მუხტი, m –

პარალელურად შეერთებული სექციების რიცხვია; n – მიმდევრობით შეერთებული მზის ელემენტების რიცხვია [36].

ნახევარგამტარული გარდამქმნელის (ერთფაზა დენის ინვერტორის) კომპუტაციური ფუნქცია $\Phi(\omega t) = \frac{4}{\pi} \sum_{k=1}^{\infty} \frac{1}{k} \sin k\omega t$, ამყარებს კავშირს დენის ინვერტორის შემავალ და გამომავალ ელექტრულ სიდიდეებს შორის; ω – ინვერტირებული დენის კუთხური სიხშირეა; W_1, W_2 – ერთფაზა ძალური ტრანსფორმატორის პირველადი და მეორადი გრაგნილების ხვიათა რიცხვებია.

ნახევარგამტარულ ვენტილებს ვითვალისწინებთ, როგორც იდეალურ კომპუტატორს, რომელსაც აქვს უნარი მყისიერად გადართოს ელექტრული წრედის რაიმე უბანი მოცემულ დროის მომენტში.

ვენტილებად გამოყენებულია ძალური ნახევარგამტარული ხელსაწყოები – ანისტორები, შიგა გადამრთველი უკუკავშირით, რომელიც აძლევს მას უნარს გამოირთოს გადართვის დენის მიღწევისას და ჩაართოს ძაბვის შემცირებისას დაჭერის ძაბვის სიდიდემდე. ერთფაზა ძალური ტრანსფორმატორი განიხილება, როგორც წრედის წრფივი ნაწილი.

ცვლადთა მყისი მნიშვნელობების მიმართ უცნობი სიდიდეებია:

სქემის (ნახ. 6-ბ) ყველა შტოებში დენები – $i_p, i_s, i_B, i_d, i_L, i_1, i_2, i_{L1}, i_C$, წრედის შემდეგი ელემენტების შესავალზე და გამოსავალზე ძაბვები (ნახ.6-ბ) u, u_0, u_1, u_2 და კონდენსატორული ბატარეების მყისა სიმძლავრე – $P_c(t)$.

განსახილველი ჰიბრიდული ენერგოსისტემის პრინციპული ელექტრული სქემისათვის მუდმივი ძაბვის ქსელის – 27 შესავალის მხრიდან ცვლადების მყისა მნიშვნელობების მიმართ მატრიცულ ფორმაში შესაძლებელია დაიწეროს ჰიბრიდულ განტოლებათა სისტემა [37]:

$$\begin{pmatrix} R_p & R_s & R_B & 0 & 0 \\ 1 & -1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -R_B & R_{L1} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & R_{L1} & 0 \\ 0 & -1 & 1 & 1 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} i_p \\ i_s \\ i_B \\ i_L \\ i_d \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} E_p - E_B \\ J \\ E_B \\ u \\ 0 \end{pmatrix} \quad (83)$$

(83) განტოლებათა სისტემის ამოხსნა უცნობი დენების მიმართ გვაძლევს შემდეგ გამოსახულებებს:

$$i_p(t) = I_{01} - g_1 u(t); \quad (84)$$

$$i(t) = I_{02} - g_1 u(t); \quad (85)$$

$$i_B(t) = -I_{03} + g_2 u(t); \quad (86)$$

$$i_L(t) = g_3 u(t); \quad (87)$$

$$i_d(t) = I_{04} - g_4 u(t); \quad (88)$$

სადაც:

$$\begin{aligned} I_{01} &= (E_p - E_B + JR_s)g_1; \\ I_{02} &= (E_p - JR_p)g_1; \\ I_{03} &= E_B * g_2; \\ I_{04} &= E_B(2g_1 + g_2) - (E_p + JR_s)g_1; \end{aligned} \quad (89)$$

$$\begin{aligned} g_1 &= \frac{1}{(R_p + R_s)r}; \\ g_2 &= \frac{1}{R_B}; \\ g_3 &= \frac{1}{R_{L1}}; \\ g_4 &= \frac{\left[1 + \frac{(g_1 + g_2)}{g_3}\right]}{R_{L1}}; \\ J &= \frac{E_B}{(m-1)R_p}; \end{aligned} \quad (90)$$

ცვლადი ძაბვის – 28 ქსელის შესავალ და გამოსავლის მხრიდან ცვლადთა მყისა მნიშვნელობების მიმართ დაწერილ განტოლებათა სისტემას აქვს შემდეგი სახე:

$$u - u_0 = i_d R_d + \frac{L_d di_d}{dt}; \quad (91)$$

$$u_1 = i_I R^I + \frac{(L_s^I + M^{II}) di_I}{dt} + \frac{M_{12} di_I}{dt}; \quad (92)$$

$$-\frac{M_{12} di_I}{dt} = i_2 R^{II} + \frac{(L_s^{II} + M^{22}) di_2}{dt} + u_2; \quad (93)$$

$$u_2 = i_{L1} R_{L2} + \frac{L di_{L1}}{dt}; \quad (94)$$

$$u_2(t) = q_I \int_0^t t_c(t) dt; \quad (95)$$

$$u_0(t) = u_1(t) \cdot \Phi(t); \quad (96)$$

$$i_I(t) = i_d(t) \cdot \Phi(t); \quad (97)$$

$$u = u_B R_B + E_B; \quad (98)$$

$$u_1(t) = nu_2(t); \quad (99)$$

$$i_2(t) = i_{L1}(t) + i_c(t); \quad (100)$$

$$P_c(t) = i_c(t)u_2(t); \quad (101)$$

(83)-დან E_B -სთვის ვღებულობთ:

$$E_B = E_p - i_p R_p - i E_s - i_B R_B. \quad (102)$$

(102)-ის ჩასმა (98)-ში მოგვცემს u ძაბვისთვის შემდეგ გამოსახულებას:

$$u(t) = E_p + u_j - r i_p(t) \quad (103)$$

სადაც u_j გამოითვლება (116) გამოსახულებით.

(91-94) განტოლებათა სისტემის ამოხსნა დენების წარმოებულების მიმართ გვაძლევს შემდეგ ინტეგრალურ განტოლებებს:

$$i_d(t) = \int_0^t [l_1 u(t) + l_2 u_0(t) - l_0] dt; \quad (104)$$

$$i_1(t) = \int_0^t [l_6 u_1(t) + l_4 u_2(t) - \delta_4 i_1(t) + \delta_5 i_2(t)] dt; \quad (105)$$

$$i_1(t) = \int_0^t [l_4 u_1(t) + l_5 u_2(t) - \delta_2 i_1(t) + \delta_3 i_2(t)] dt; \quad (106)$$

$$i_{L1}(t) = \int_0^t [l_3 u_2(t) - \delta_1 i_{L1}(t)] dt; \quad (107)$$

(95)-დან $i_c(t)$ დენისთვის გვაქვს:

$$i_c(t) = c \frac{du_2(t)}{dt}; \quad (108)$$

(108) ჩავსვათ (101)-ში, მივიღებთ:

$$P_c(t) = c u_2(t) \frac{du_2(t)}{dt};$$

ახ

$$\frac{du_2^2(t)}{dt} = \frac{2}{c} P_c(t);$$

საიდანაც $u_2(t)$ ძაბვისთვის ინტეგრირების შემდეგ გვექნება:

$$u_2(t) = \left[\frac{2}{c} \int_0^t P_c(t) dt \right]^{\frac{1}{2}} \quad (109)$$

(109) ჩავსვათ (101)-ში და $i_c(t)$ დენისთვის მივიღებთ:

$$i_c(t) = \frac{P_c(t)}{\left[q_2 \int_0^t P_c(t) dt \right]^{\frac{1}{2}}} \quad (110)$$

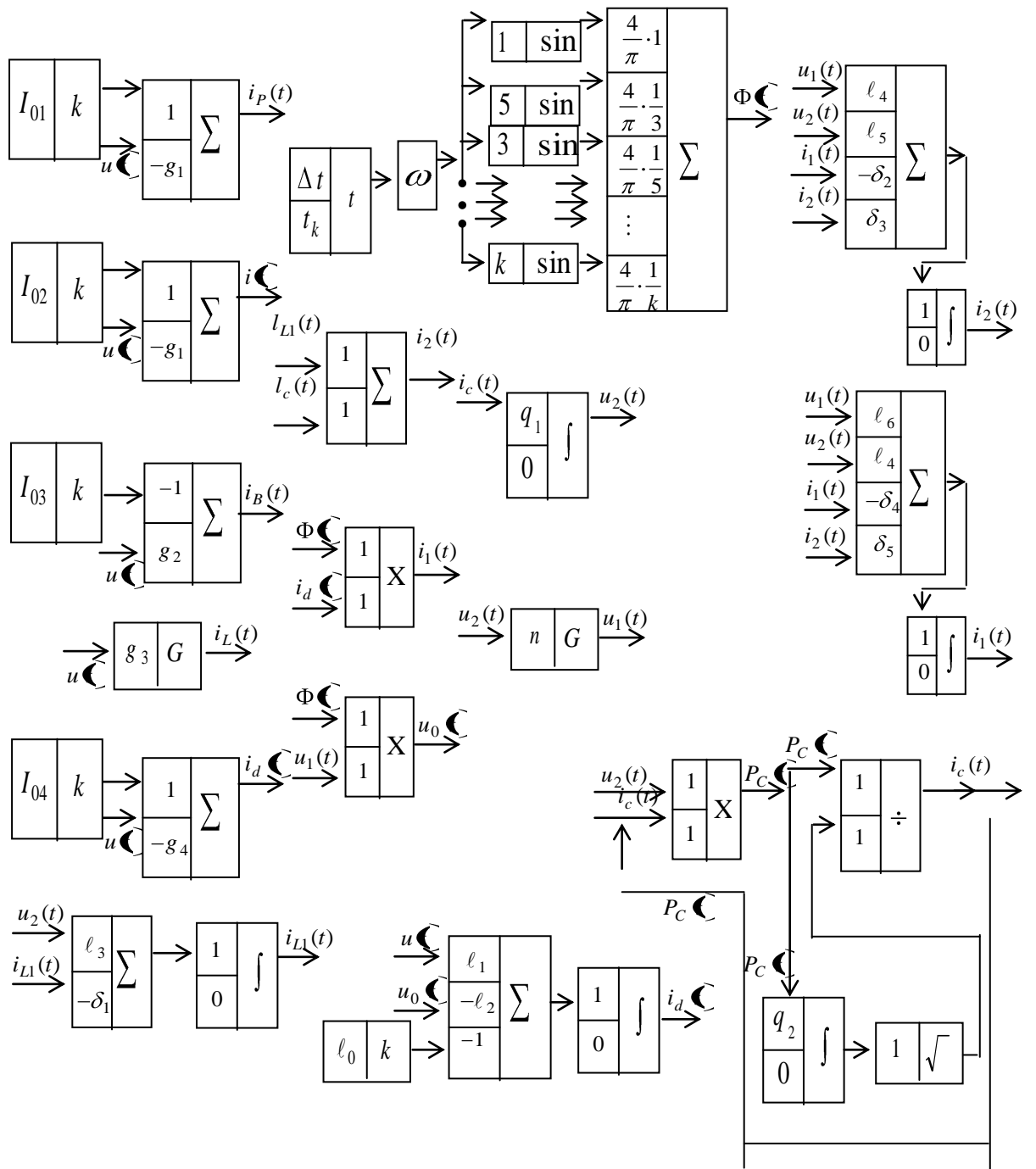
(95, 99, 103, 104-107, 110) განტოლებებში ექვივალენტური კოეფიციენტებისთვის გვაქვს:

$$\begin{aligned} q_1 &= \frac{1}{C}; \quad n = \frac{W_1}{W_2}; \quad u_j = JR_S = \frac{R_S E_B}{(m-1)R_p}; \quad l_1 = \frac{K_{R2}}{L_d}; \quad r = R_p + R_S; \\ K_{R2} &= 1 + K_{R1} \frac{R_d}{g_3}; \quad K_{R1} = 1 + \frac{(g_1 + g_2)}{g_3}; \quad l_2 = \frac{1}{L_d}; \quad l_0 = \frac{E_{\text{მდ3}}}{L_d}; \\ E_{\text{მდ3}} &= I_{04} R_d; \quad l_6 = \frac{1}{L_{\text{მდ3}}^I}; \quad L_{\text{მდ3}}^I = (1 - k^2)(L_S^I + M^{II}); \quad k^2 = \frac{M_{12} M_{21}}{(L_S^I + M^{11})(L_S^{II} + M^{22})} \\ l_4 &= \frac{k^2}{M_{\text{მდ3}}^I}; \quad M_{\text{მდ3}}^I = (1 - k^2)M_{12}; \quad \delta_4 = \frac{R^I}{L_{\text{მდ3}}^I}; \quad l_5 = \frac{1}{L_{\text{მდ3}}^{II}}; \\ L_{\text{მდ3}}^{II} &= (1 - k^2)(L_S^{II} + M^{22}); \quad \delta_5 = \frac{k^2 R^{II}}{M_{\text{მდ3}}^I}; \quad \delta_2 = \frac{k^2 R^I}{M_{\text{მდ3}}^I}; \quad \delta_3 = \frac{R^{II}}{L_{\text{მდ3}}^{II}}; \\ l_3 &= \frac{1}{L}; \quad \delta_1 = \frac{R_{L2}}{L}; \quad q_2 = \frac{2}{C}; \end{aligned} \quad (111)$$

მიღებული განტოლებები (84-88, 95-97, 99-101, 103-107, 108) და კომპუტაციური ფუნქციის გამოსახულება, რომელიც ამყარებს ვენტისების გადართვის კანონზომიერებას, შესაძლებლობას იძლევა ჩატარდეს კომპიუტერული მოდელირება [38,39].

კომპიუტერული მოდელირებისთვის შემოგვყავს ყველა შესაძლო მათემატიკური ოპერაციის სტრუქტურული მოდელების ცნებები და თვისებები [40 ÷ 44].

ზემოთ მოყვანილის საფუძველზე ალგებრულ და ინტეგრალურ სახით ჩაწერილი განტოლებები წარმოიდგინება ცალკეული სტრუქტურული მოდელების სახით (ნახ. 12):



ნახ.12. ალგებრული და ინტეგრალური განტოლებების შესაბამისი ცალკეული სტრუქტურული მოდელები და Φ კომპიუტაციური ფუნქციის ფორმირების ბლოკ-სქემა.

ნახ. 12-ზე ნაჩვენებია ცალკეული სტრუქტურული მოდელების შერწყმისა და გაერთიანების შედეგად მივიღებთ ენერგოსისტემის დინამიური პროცესების ერთიან სტრუქტურულ სქემას (ნახ. 13), რომელიც შესაძლებლობას მოგვცემს დიდი სიზუსტით გავიანგარიშოთ, გამოვიკვლიოთ და გავაანალიზოთ რთული ელექტრომაგნიტური დინამიური პროცესები.

ფეგ-ის გამოსავალზე ძაბვის განსაზღვრისთვის მოცემული პარამეტრების გათვალისწინებით ვისარგებლოთ გარდამქმნელის დენის გამოსახულებით:

$$i(t) = i_p(t) - mI_0 \left(e^{\frac{u(t)}{A\phi n}} - 1 \right) \quad (112)$$

(84,85) ჩავსვათ (112)-ში და გავითვალისწინოთ (89,90)

გამოსახულებები, გარდაქმნის შედეგად მივიღებთ:

$$\frac{u(t)}{e^{A\phi n}} - 1 = \frac{E_B}{m(m-1)I_0 R_p} \quad (113)$$

(113)-დან $u(t)$ ძაბვისთვის გვაქვს:

$$u(t) = \frac{AkTn}{e} \ln \left| 1 + \frac{E_B}{m(m-1)I_0 R_p} \right| \quad (114)$$

(114)-ში გათვალისწინებულია

$$\varphi = \frac{kT}{e}$$

(113) ჩავსვათ J -ს გამოსახულებაში, მივიღებთ:

$$J = mI_0 \left(e^{\frac{u(t)}{A\phi n}} - 1 \right) = \frac{E_B}{(m-1)R_p} \quad (115)$$

(115)-ის გათვალისწინებით (90)-დან u_j ძაბვისთვის გვაქვს:

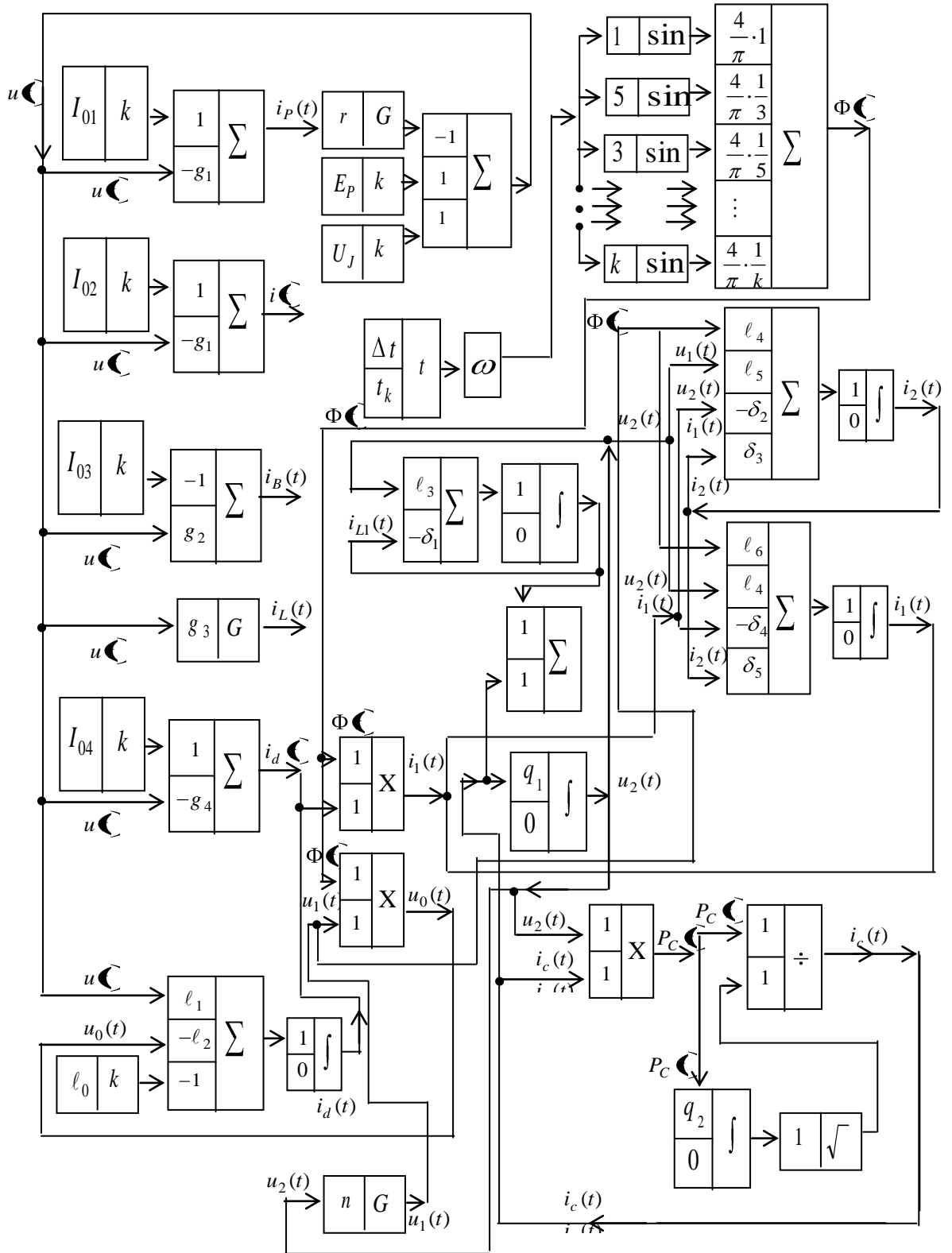
$$u_j = JR_s = \frac{E_B R_s}{(m-1)R_p} \quad (116)$$

(115) ჩავსვათ (89)-ში, მივიღებთ I_{01}, I_{02}, I_{04} , დენებისთვის შემდეგ გამოსახულებებს:

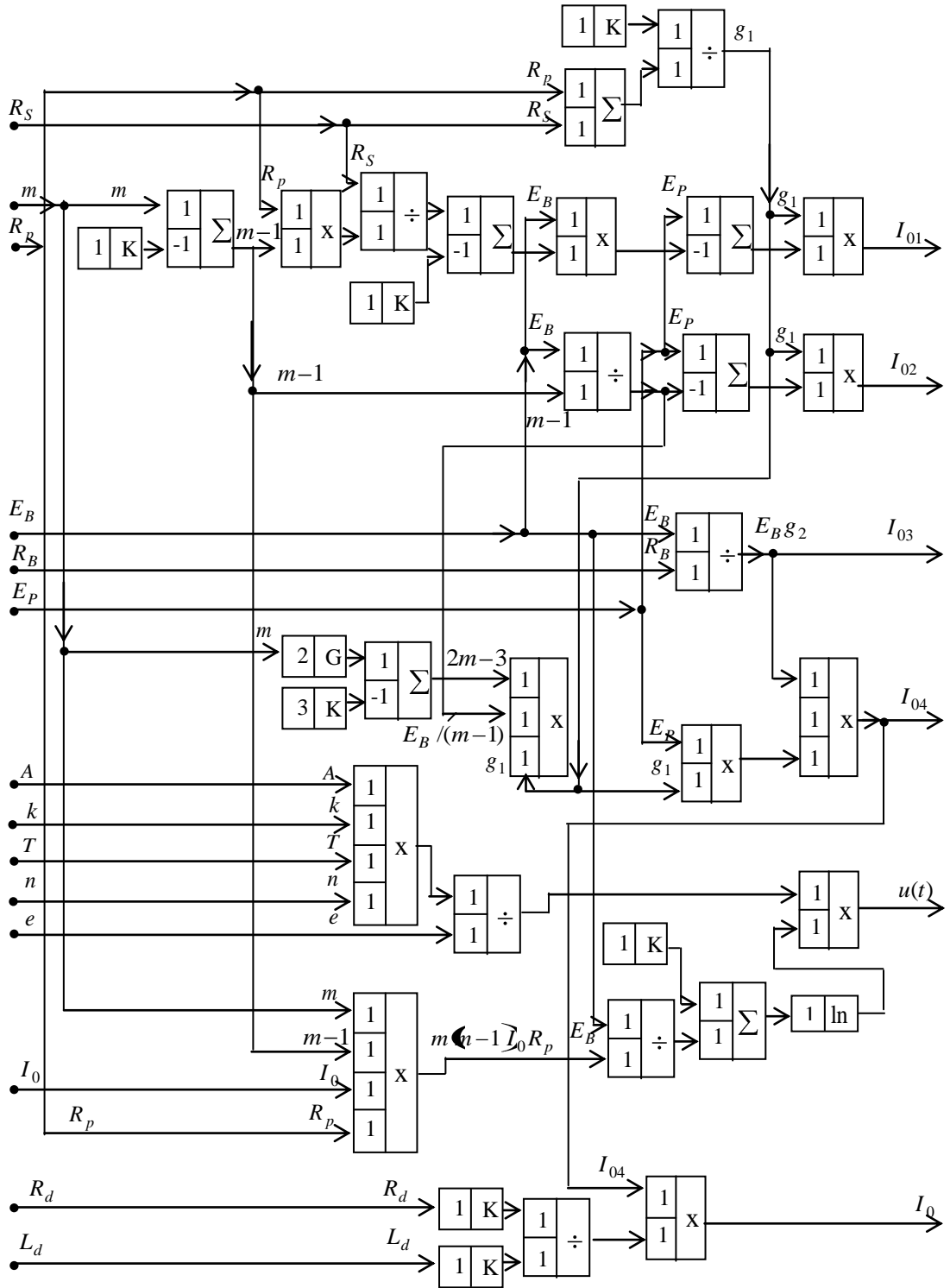
$$I_{01} = \left\{ E_p - E_B \left[\frac{R_s}{(m-1)R_p} - 1 \right] \right\} g_1; \quad (117)$$

$$I_{02} = \left(E_p - \frac{E_B}{m-1} \right) g_1; \quad (118)$$

$$I_{04} = E_B \left[\frac{2m-3}{m-1} g_1 + g_2 \right] - E_p g_1. \quad (119)$$



ნახ.13. ჰიბრიდული ენერგოსისტემის ელექტრომაგნიტური გარდამავალი პროცესების მათემატიკური და კომპიუტერული მოდელის სტრუქტურული სქემა



ნახ.14. (114) (117-119), (89) გამოსახულებების საფუძველზე ჰიბრიდული ენერგოსისტემის $u(t)$ ძაბვის და $I_{01}, I_{02}, I_{03}, I_{04}$ დენების განსაზღვრის მათემატიკური და კომპიუტერული მოდელის სტრუქტურული სქემა.

(111)-დან გვაქვს:

$$I_0 = I_{04} \frac{R_d}{L_d} \quad (120)$$

(89), (114), (117-120) გამოსახულებების საფუძველზე გვაქვს $u(t)$ ძაბვის, $I_{01}, I_{02}, I_{03}, I_{04}$ დენების და I_0 პარამეტრის განსაზღვრის მოდელის სტრუქტურული სქემები (ნახ.14).

მიღებული სტრუქტურული სქემების (ნახ. 13,14) ერთმანეთთან შეთავსებით მივიღებთ ავტონომიური ჰიბრიდული ენერგოსისტემისათვის გარდამავალი (დინამიური) პროცესების გაანგარიშების მათემატიკური და კომპიუტერული მოდელირების გაერთიანებულ სტრუქტურულ სქემას.

წარმოდგენილი მეთოდის საფუძველზე შესაძლებელია განხორციელდეს ავტონომიური ჰიბრიდული ენერგოსისტემის სინთეზი ოპტიმალური რეაქტიული სიმძლავრის ეფექტური კომპენსაციის და მუშაობის სხვადასხვა რეჟიმებში გარდამავალი პროცესების ხანგრძლივობის რეგულირების შესაძლებლობის გათვალისწინებით.

2.4. განახლებადი ენერჯის წყაროებიან მუდმივი და ერთფაზა ცვლადი დენის ავტონომიურ ჰიბრიდული ენერგოსისტემის პარალელური მუშაობის რეჟიმების მართვა იმპულსური გარდამქმნელების საშუალებით

წარმოდგენილია მზისა და აკუმულატორული ბატარეების მუდმივი დენის იმპულსური გარდამსახის საშუალებით სექციონირების ბაზაზე მუდმივი და ცვლადი დენის ავტონომიური ჰიბრიდული ენერგოსისტემების პარალელური მუშაობის თეორიული და სქემატური გადაწყვეტა. ასეთი საკითხების საჭიროება მიზანშეწონილია დასახლებული პუნქტებიდან და ცენტრალური (მაგისტრალური) ელექტრომომარაგების ელექტროგადამცემი ხაზებიდან გაცილებით შორს განლაგებული

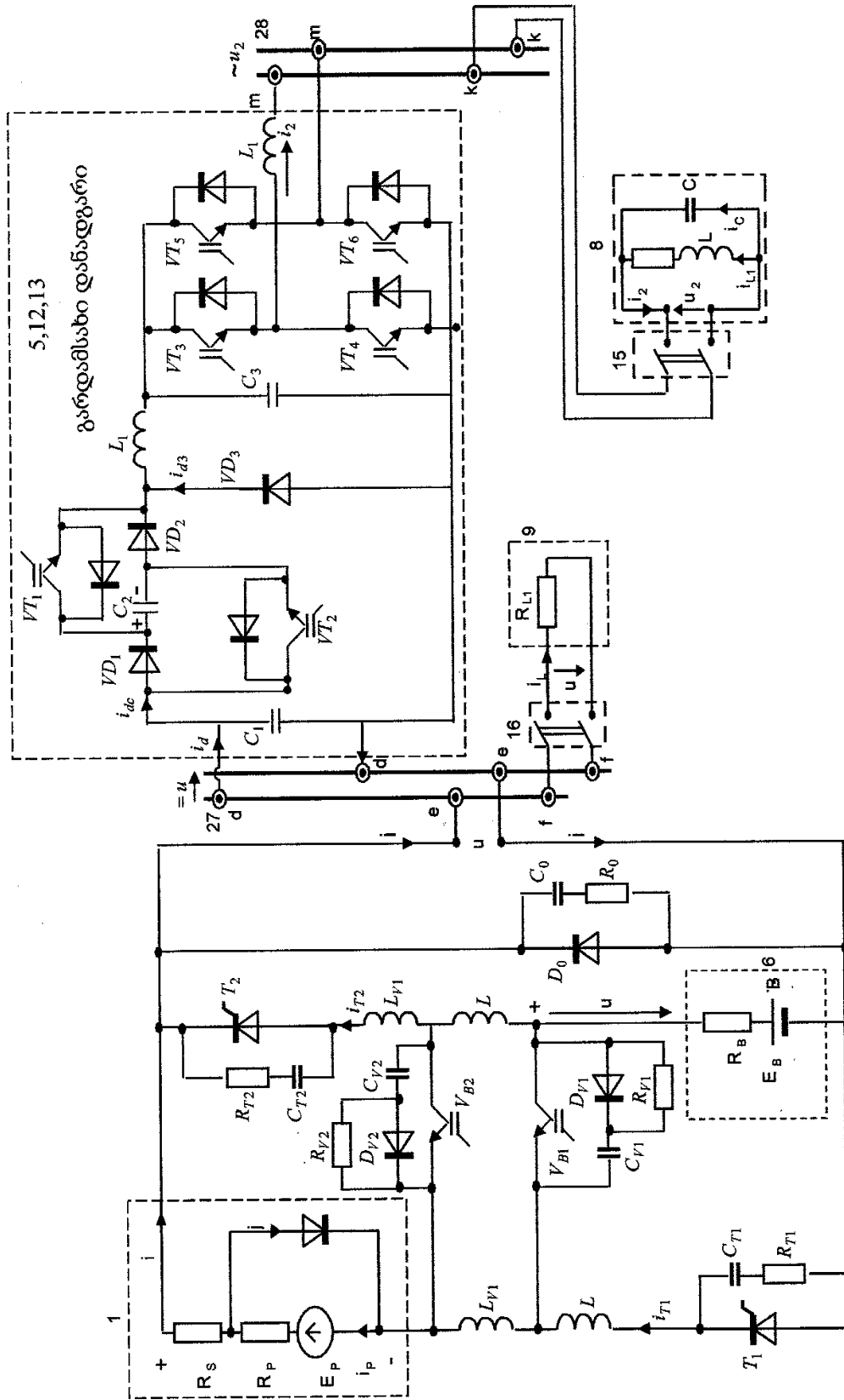
კომპიუტერული და რადარული ტექნიკის უწყვეტი სტაბილური ელექტრომომარაგებისათვის.

იმის მიხედვით, თუ როგორია კვების წყაროებისა და დატვირთვის სიმძლავრეთა თანაფარდობები შესაძლებელია მუდმივი და ცვლადი ძაბვის ენერგოსისტემებში კვების წყაროების სხვადასხვა კომბინაციით სექციონირება სპეციალური მუდმივი დენის იმპულსური გარდამსახის გამოყენებით. ნახ.15-ზე ნაჩვენებია მუდმივი დენის იმპულსურ გარდამსახიანი მუდმივი და ერთფაზა ცვლადი დენის ჰიბრიდული ენერგოსისტემების პარალელური მუშაობის ამსახველი პრინციპული ელექტრული სქემა, რომელშიც განხილულია შემთხვევა, როცა მუდმივი დენის ენერგოსისტემაში დატვირთვის მიერ მოთხოვნილი სიმძლავრე მზისა და აკუმულატორული ბატარეის ჯამურ სიმძლავრეზე ნაკლებია და ცვლად u_2 ძაბვის ენერგოსისტემაში სიმძლავრის დეფიციტის არსებობის პირობებში იგი შეივსება არატრადიციული ენერგიის წყაროებიდან გარდაქმნილი ელექტრული ენერგიით.

აღნიშნულ სქემაში $V_{B1,B2}$ IGBT ტრანზისტორებია; $T_{1,2}$ - ერთ-ოპერაციული სწრაფმოქმედი ტირისტორები; D_0 - ნულოვანი მაღალი სიხშირის დიოდი; $D_{V1,V2}$ - მადემპფირებელი დიოდები; $L_{V1,V2}-V_{B1,B2}$ ტრანზისტორებს შორის i_B -დენის თანაბრად განაწილებისათვის საჭირო დროსელების ინდუქციურობები; $L_{T1,T2} - T_{1,2}$ ტირისტორებში i_B, i -დენების ზრდის სიჩქარის შემზღვეველი დროსელების ინდუქციურობები და შეირჩევიან შემდეგი გამოსახულებებით:

$$L_{T1} = \frac{u}{\left(\frac{di}{dt}\right)_{\text{დას}}} ; \quad L_{T2} = \frac{u}{\left(\frac{di_B}{dt}\right)_{\text{დას}}} ;$$

R_0 ; $R_{T1,T2}$; $R_{V1,V2}$; C_0 ; $C_{T1,T2}$; $C_{V1,V2}$ - შესაბამისად D_0 - ნულოვანი დიოდის, $T_{1,2}$ ტირისტორების და $V_{B1,B2}$ ტრანზისტორების მადემპფირებელი წრედების აქტიური წინაღობები და ტევადობები.



ნახ.15. მუდმივი და ცვლადი ძაბვის ენერგოსისტემების გარდამქმნელი დანადგარით შეთანხმებული მუშაობის პრინციპული ელექტრული სქემა

არატრადიციული ენერჯის წყაროების სექციონირება მუდმივი დენის იმპულსური გარდამსახის საშუალებით ახსნილია მე-8 ნახ-ზე ნაჩვენები გამტარ შდგომარეობაში მყოფი ნახევრად გამტარიანი ხელსაწყოების დენებისა და მუდმივი ძაბვის ქსელში $u, E_B, u + E_B$ ძაბვების დიაგრამებით:

- დროის $0 < t < t_1$ შუალედში ღიაა მხოლოდ T_1 ტირისტორი და მზის ფოტოგარდამსახის u ძაბვა მიეწოდება მუდმივი ძაბვის ქსელს (ნახ.8.ა.დ);

- დროის $t_1 < t < t_2$ შუალედში ღიაა მხოლოდ T_2 ტირისტორი და $E_B^I = E_B - i_B R_B$ აკუმულატორის მომჭერებზე არსებული ძაბვა მიეწოდება მუდმივი ძაბვის ქსელს (ნახ.8.ბ.დ);

- დროის $t_2 < t < t_3$ შუალედში ღიაა $V_{B1,B2}$ ტრანზისტორები, აკუმულატორული ბატარეა და მზის ფოტოელექტრული გარდამსახი აღმოჩნდება მიმდევრობით შეერთებული და ჯამური ძაბვა მიეწოდება მუდმივი ძაბვის ქსელს (ნახ.8.გ.დ);

- დროის $t_3 < t < t_4$ შუალედში ღიაა მხოლოდ $T_{1,2}$ ტირისტორი, მზის ფოტოელექტრული გარდამსახი და აკუმულატორული ბატარეა აღმოჩნდება პარალელურად ჩართული და მუდმივი ძაბვის ქსელს მიეწოდება u ძაბვა (ნახ.8.ე.ზ);

- დროის $t_4 < t < t_5 = T$ ინტერვალში $T_{1,2}$ ტირისტორების ღია მდგომარეობის პირობებში იღება $V_{B1,B2}$ ტრანზისტორები, მზის ფოტოელექტრული გარდამსახი და აკუმულატორული ბატარეა, ურთიერთმიმდევრობით ჩართული, აღმოჩნდება მუდმივი ძაბვის ქსელთან მიერთებული. $V_{B1,B2}$ ტრანზისტორები ამავე დროს გამოიწვევს $T_{1,2}$ ტირისტორების ჩაკეტვას კომუტაციური პროცესების თანმხლებით.

$T_{1,2}$ ტირისტორებზე და $V_{1,2}$ ტრანზისტორებზე მართვის იმპულსების სხვადასხვა მომენტებში მიწოდება გამოიწვევს კვების წყაროების მიმდევრობითი შეერთების სხვადასხვა ვარიანტებს. მე-8 ნახ-ზე ნაჩვენებია ორი ვარიანტი: პირველ ვარიანტში, $t_3 < t < t_5$ დროის ინტერვალში u ძაბვის ცვლილების მრუდს აქვს ნახ.8 ე,ვ,ზ-ზე ნაჩვენები სახე.

მეორე ვარიანტში დროის $0 < t < t_2$ შუალედში ღიაა მხოლოდ $T_{1,2}$ ტირისტორები და მუდმივი ძაბვის ქსელს მიეწოდება u ძაბვა (ნახ.8, თ,კ), ხოლო დროის $t_2 < t < t_5 = T$ ინტერვალში იღება $V_{B1,B2}$ ტრანზისტორები და კომუტაციური პროცესების თანმხლებით სრულდება კვების წყაროების მიმდევრობით შეერთების მეორე ვარიანტი. ამ შემთხვევაში მუდმივი ძაბვის ქსელს მიეწოდება $u + E_B$ ძაბვა (ნახ.8.ი,კ) კვების წყაროების მანიპულაციით შესაძლებელია მუდმივი ძაბვის ქსელს (სისტემას) მიეწოდოს სხვადასხვა ფორმისა და სიდიდის ძაბვა [45].

კვების წყაროების პარალელური შეერთებიდან მიმდევრობით შეერთებაზე გადართვას თან ახლავს კომუტაციური პროცესები [46,47].

$T_{1,2}$ ტირისტორებზე, ნულოვან D_0 დიოდზე და $V_{B1,B2}$ ტრანზისტორებზე (ანისტორებზე) ძაბვის კომუტაციური გამონატყორცნების თავიდან ასაცილებლად გათვალისწინებულია R,C-პარამეტრებიანი დემპფერული წრედები, რომელთა მოქმედებით დროის t_2^I მომენტში კომუტაციური $i_{k0}(t)$ დენი პრაქტიკულად მყისიერად წყდება Δt^I ინტერვალში. $i_{k0}(t)$ დენი შეიკვრება R_{T1}, C_{T1} , და R_{T2}, C_{T2} წრედების გავლით, ამ შემთხვევაში დაცული უნდა იქნეს შემდეგი აუცილებელი პირობები:

$$i_{k0} = \frac{2Q_k}{\tau_0}; \quad C_{T1,2} \cdot (k_T U_{0T})^2 = L_{T1,2} \cdot i_{k0}^2; \quad R_{T1,2} = 2 \sqrt{\frac{L_{T1,2}}{C_{T1,2}}}$$

სადაც $K_T = 0,7 \div 0,8$ თადარიგის კოეფიციენტი; U_{0T} -ტირისტორების უკუგანმეორებითი ძაბვის პასპორტული მნიშვნელობა [4].

$$\rho_{T1,2} = \sqrt{\frac{L_{T1,2}}{C_{T1,2}}} \text{ სიდიდეს უწოდებენ დემპფერული კონტურის ტალღურ}$$

წინაღობას.

დემპფერულ კონტურში მიმდინარე გარდამავალი პროცესების გათვალისწინებით $T_{1,2}$ ტირისტორებზე ანალოგიურად გათვლილი უკუძაბვის მნიშვნელობები შედარდება $K_T \cdot U_{0T}$ ძაბვის სიდიდეს და საჭიროების შემთხვევაში ხდება დემპფერული წრედების $R_{T1,2}, C_{T1,2}$

პარამეტრების კორექტირება. ანალოგიურად გაიანგარიშება $V_{B1,2}$ ტრანზისტორებისა და D_0 ნულოვანი დიოდის დემპფერული წრედები.

ცვლადი დენის მაღალი $\sim u_2$ ძაბვის ქსელში მუდმივი დენის ქსელიდან ჭარბი სიმძლავრის გადაცემა სპეციალური გარდამქმნელი დანადგარის მეშვეობით საშუალებას იძლევა შეთანხმებულად იმუშაოს მუდმივი დენის და ცვლადი ძაბვის ქსელებმა 27,28.

გარდამქმნელი დანადგარი შედგება მუდმივი დენის გარდამქმნელი-საგან ($T_{B1,2}$ ტრანზისტორები, $V_{D1,D2,D3}$ დიოდები, C_2, C_3 კონდესატორები L_1 დროსელი) და ერთფაზა ინვერტორისაგან ($VT_3 \dots VT_6$ ტრანზისტორები) მუდმივი დენის გარდამქმნელის გამოსასვლელზე უზრუნველყოფილია ცვლადი ძაბვის ქსელთან სინქრონიზებული სინუსოიდური დენი. ერთფაზა ინვერტორი იმართება მართკუთხა ფორმის იმპულსებით და სინქრონიზებულია ცვლადი ძაბვის ქსელთან 28.

იმ შემთხვევაში $u = u$ ძაბვა მეტია $\sim u_2$ ძაბვაზე, შესაძლებელია გარდამქმნელი დანადგარის მუშაობის სამი რეჟიმი:

- $V_{T1,2}$ ტრანზისტორები ჩაკეტილია, V_{D3} უკუდიოდი ღიაა და i_{D3} დენი მიედინება ცვლადი დენის L_1, L_2 კონტურში. C_2 კონდესატორი დამუხტულია $\approx u$ ძაბვამდე;

- $V_{T1,2}$ ტრანზისტორები ღია, ხოლო V_{D3} დიოდი ჩაკეტილია. C_2 კონდესატორი გადასცემს დაგროვებულ ენერგიას ცვლადი ძაბვის ქსელს 28 და იცვლება ნულამდე;

- $V_{T1,2}$ ტრანზისტორი იკეტება, C_2 კონდესატორი იმუხტება $\approx u$ ძაბვამდე მუდმივი ძაბვის ქსელიდან 27. V_{D3} დიოდი იღება მაშინ, როცა C_2 კონდესატორზე ძაბვა მიაღწევს $\sim u_2$ სიდიდეს.

ე.ი. როცა $V_{T1,2}$ ტრანზისტორები ჩაკეტილია, C_2 კონდესატორზე ენერგია გროვდება, ხოლო როცა ისინი გაიღება, მაშინ C_2 კონდესატორი გადასცემს ენერგიას ცვლადი დენის ქსელს 28.

$V_{T1,2}$ ტრანზიტორების გადართვა (კომუტაცია) ხდება დენისა და ძაბვის ნულოვანი მნიშვნელობებისას, ამიტომ დანადგარის დანაკარგები მცირეა, მ.კ. კოეფიციენტი დიდი, ხოლო სიმძლავრის კოეფიციენტი ახლოსაა ერთთან.

**თავი 3. ჰიბრიდულ ავტონომიური
ელექტროენერგეტიკული სისტემების
პარალელური მუშაობის დინამიური პროცესების
მოდელირება, რეჟიმების მართვა და ოპტიმიზაცია**

**3.1 მზის ფოტოელექტრული სადგურისა, აკუმულატორული
ბატარეისა და სამფაზა ცვლადი დენის ქსელის ერთობლივი
მუშაობის ერთიანი სისტემა.**

ელექტროენერგეტიკის განვითარების თანამედროვე ეტაპზე მნიშვნელოვანი ადგილი უკავია ელექტროენერჯის ალტერნატიულ წყაროების ბაზაზე მუდმივი და ცვლადი დენის ავტონომიური ჰიბრიდული ენერგოსისტემის შექმნასა და გამოყენებას. ქვეყნის ცალკეული შორეული რაიონების ელექტრომომარაგებაში ავტონომიური ჰიბრიდული ენერგოსისტემის გამოყენება მზის ელემენტების, ქარის გენერატორების, აკუმულატორული ბატარეებისა და დიზელგენერატორების ბაზაზე მიზანშეწონილია თუ ენერგოსისტემის განვითარება შეუძლებელია და ფასები საწვავზე და სათბობზე მიუღებლად მაღალია რთული ტრანსპორტირების გამო.

წარმოდგენილია მზის ფოტოელექტრული სადგურის (მფს), აკუმულატორული ბატარეის (აბ) და სამფაზა ცვლადი დენის ქსელის (სცქ) ერთობლივი მუშაობისას პროცესების მართვა.(ნახ.16) მფს-ს აქვს მომხმარებლის სიმძლავრის თანაზომადი შეზღუდული სიმძლავრე. იმის გამო, რომ ენერგომომხმარებლის გრაფიკს აქვს არსებითად არათანაბარი ხასიათი, ელექტრომომარაგების სისტემის მუშაობის რეჟიმების თანმიმდევრობა წარმოებს შემდეგი კლასიფიკაციით[9,20].

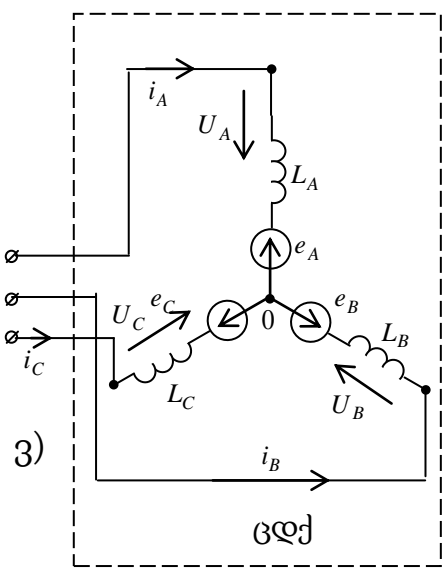
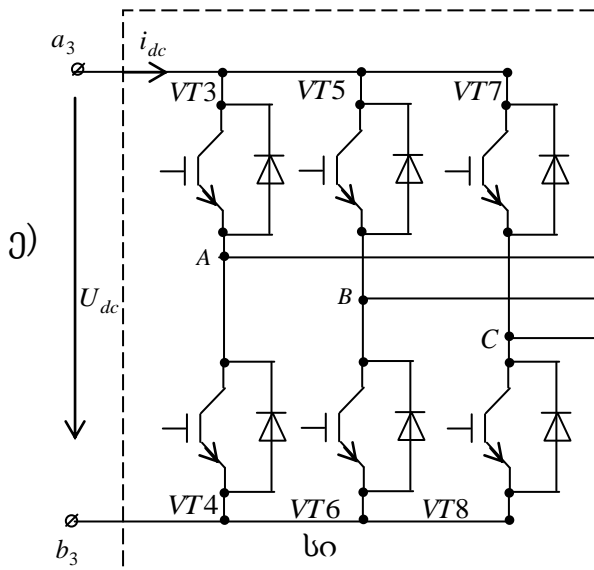
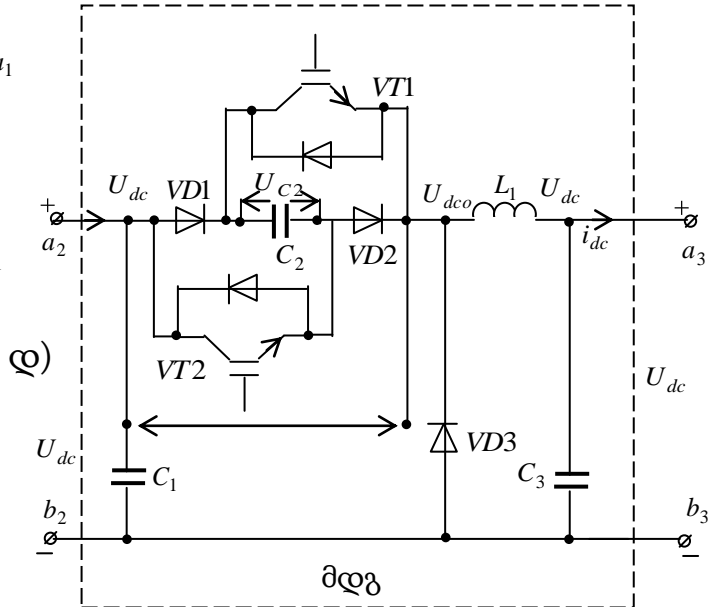
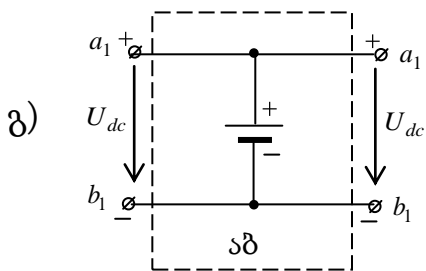
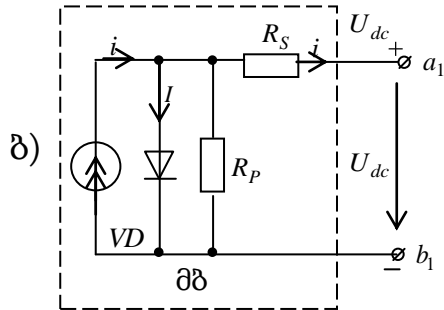
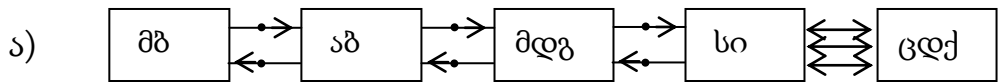
ა) რეჟიმი, როცა მომხმარებლის სიმძლავრე აღემატება მფს-ს სიმძლავრეს, ხოლო სიმძლავრის უკმარისობა იფარება ბუფერული სცქ-ს

წყართი. ამ შემთხვევაში აუცილებელია, რომ მფს მუშაობდეს მაქსიმალური გასაცემი სიმძლავრის რეჟიმში.

ბ) რეჟიმი, როცა მომხმარებლის სიმძლავრე ნაკლებია მფს-ს სიმძლავრეზე. ამ შემთხვევაში „ჭარბი“ სიმძლავრე მფს-დან გადაეცემა სცქ-ს, ხოლო სცქ მუშაობს მაქსიმალური გადასაცემი სიმძლავრის რეჟიმში.

ნახ.16 – ზე ნაჩვენებია: ა) მზის ბატარეებისა და სამფაზა ცვლადი დენის ქსელის ერთობლივი მუშაობის ამსახველი სტრუქტურული სქემა, რომელშიც შემავალი ელემენტებია; ბ) მზის ბატარეა (მზ); გ) აკუმულიატორული ბატარეა (აბ); დ) მუდმივი დენის გარდამქმნელი (მდგ); ე) სამფაზა ინვერტორი (სი); ვ) ცვლადი დენის ქსელი (ცდქ).

მზის ბატარეის ელექტრული შენაცვლების სქემაში ნათლად ჩანს, რომ ელემენტში გამავალი სრული დენი i წარმოადგენს რეკომბინაციულ-გენერაციული I , დიფუზიურ I და შუნტირებული I_p დენების მდგენელების ჯამს (ნახ.16-ბ). დენის ეს მდგენელები განიხილებიან ერთმანეთისაგან დამოუკიდებლად [1,2]; R_p - მაშუნტირებელი წინაღობაა, ხოლო R_s - მიმდევრობითი წინაღობაა. დიდ დენებზე R_s -ის გავლენა ელემენტის ვოლტ-ამპერულ მახასიათებელზე მეტად მნიშვნელოვანია, ხოლო დაბალი ძაბვებისას, როცა გადასასვლელზე გამავალი დენი მცირეა მაშუნტირებელ დენთან შედარებით, R_s -ს გავლენა მნიშვნელოვანია. როგორც წესი, საკმარისად ძნელია ექსპერიმენტული გზით გავყოთ ერთმანეთისაგან რეკომბინაციულ-გენერაციული და შუნტირებული დენები. შუნტირებული დენის წარმოშობა დაკავშირებულია რეკომბინაციულ-გენერაციული პროცესის შედეგად მიღებულ ზედაპირულ გამტარობასთან. მზის ელემენტის გამოსავალზე ვდებულობთ U_{dc} ძაბვას, რომელიც ამავე დროს წარმოადგენს აკუმულიატორული ბატარეის შესავალზე მისაწოდებელ და მუდმივი დენის გარდამქმნელის (მდგ) შესავალ ძაბვას. მუდმივი დენის გარდამქმნელი (ნახ.16-დ) უზრუნველყოფს მზის ბატარეისა და სამფაზა ცვლადი დენის ქსელის ერთობლივ მუშაობას.



ნახ.16 ჰიბრიდულ ავტონომიური ელექტროენერგეტიკული სისტემების პარალელური მუშაობის ამსახველი სტრუქტურული და პრინციპული ელექტრული სქემა.

მდგ შედეგება $VT_{1,2}$ ტრანზისტორებისაგან; $VD_{1,2,3}$ დიოდებისაგან; $C_{1,2,3}$ კონდენსატორებისაგან და L_1 დროსელისაგან. მდგ-ს გამოსავალზე გვაქვს U_{dc} და i_{dc} დენის მყისა მნიშვნელობები, რომლებიც აგრეთვე წარმოადგენენ სამფაზა ინვერტორის (სი) შესავალ ძაბვასა და დენს.

სამფაზა ინვერტორი (ნახ.16-ე) წარმოადგენს $VT_3 + VT_8$ ტრანზისტორების ბოგური სქემით შეერთებას, რომლის გამოსავალზე ვღებულობთ ცვლადი დენის ქსელის მიმართ ელექტრომაგნიტურად შეთავსებადი U_A, U_B, U_C და i_A, i_B, i_C ძაბვებსა და დენებს. ნახ.16-ვ-ზე ნაჩვენებია სამფაზა ცვლადი დენის ქსელის შესაბამისი ფაზური დენების, ძაბვების მყისა მნიშვნელობები L_A, L_B, L_C ინდუქციურობებისა და e_A, e_B, e_C ე.მ. ძალების გათვალისწინებით.

მდგ წარმოადგენს არადისიპატიურ ბუფერულ წრედს, რომელიც ასრულებს მოდულაციურ წრედის როლს.

არსებობს მზის ფოტოელექტრული სადგურის (მფს) მუშაობის რეჟიმების რამოდენიმე გზა[9,11]:

1. მზის ელემენტების პანელების (მეპ) მზისკენ ორიენტაცია. ამის შედეგად მიიღწევა მზის პანელების რაციონალური გამოყენება. ამ შემთხვევაში ექსპლუატაციის მთელ პერიოდში მფს გამომავალი სიმძლავრე მიაღწევს თავის მაქსიმალურ მნიშვნელობას პრაქტიკულად პანელების განათებულობასთან ერთად.

2. მეპ-ის სექციონირება შეერთების სქემების თანმიმდევრული შეცვლით. ამის შედეგად მიიღწევა მეპ-ის მუშაობის რეჟიმების ოპტიმიზაცია მფს-ის ფუნქციონირების რეჟიმების დამოუკიდებლად.

3. მეპ-ის შუნტირება ბალასტურ წინააღობაზე. ამით წარმოებს ზედმეტი ენერჯიის გამოყოფა კომუტაციის გზით გადამრთველი და უწყვეტ ტიპის ძალოვან რეგულირებად მოწყობილობათა დახმარებით.

4. კომბინირებული გზა-სექციონირება პლიუს შუნტირება. შუნტირება წარმოებს პანელების, როგორც სრული ნაკრებისათვის, ასევე ცალკეული სექციებისათვის. შუნტირების ძირითად ნაკლს წარმოადგენს ბალასტურ

წინააღმდეგობაზე ენერჯის დიდი დანაკარგები, გამოხატული გაფანტული სითბოს სახით, ხოლო სექციონირების ნაკლია მართვის სქემასთან ერთად რთული კომპუტაციური ბლოკის არსებობა.

5. მეკ-ის გამოსავალზე სიმძლავრის ექსტრემალური რეგულიატორის დაყენება. ამ შემთხვევაში მიიღწევა მეკ-ის მუშაობა მაქსიმალური სიმძლავრის გაცემის რეჟიმში. მდგ-ში VT1,2 ტრანზისტორების გადართვის f_0 სიხშირე n_0 -ჯერ მეტია ცვლადი დენის ქსელის $f_{კს}$ სიხშირეზე $f_0 = f_{კს} n_0$. VT3 ÷ VT8 ტრანზისტორების გადართვის სიხშირე ტოლია $f_{კს}$ სიხშირისა.

ცდქ-ის ყოველ ფაზაში $\frac{2\pi}{3\omega}$ დროის განმავლობაში დენის გავლისას მდგ-ის VT1,2 ტრანზისტორები მოცემულ შემთხვევაში ორჯერ ასწრებენ ჩაკეტვას და გაღებას. ჩაკეტილია $t = t_0 = 0$ მომენტიდან $t = t_1$ მომენტამდე და $t = t_2$ მომენტიდან $t = t_3$ მომენტამდე; ღია მდგომარეობაშია $t = t_1$ მომენტიდან $t = t_2$ მომენტამდე და $t = t_3$ მომენტიდან $t = t_4$ მომენტამდე. ამ მომენტებისათვის ცვლადი დენის ქსელში $t = t_0$ და $t = t_2$ მომენტამდე დენი გადის A და B ფაზაში, ხოლო $t = t_2$ მომენტიდან $t = t_4$ მომენტამდე დენი გადის A და C ფაზაში (ნახ.17-ი).

მდგ-ის VT1,2 ტრანზისტორებზე $U_{\partial VT1,2}$ მართვის იმპულსების მიწოდების განრიგი ნაჩვენებია ნახ.17-ბ-ზე. ამავე სიხშირით ხდება C_2 კონდენსატორის დამუხტვა-განმუხტვის პროცესები. დამუხტვისა და განმუხტვის დენების $\rho_{C2}(t)$ კომპუტაციური ფუნქცია ნაჩვენებია ნახ.17-გ-ზე. ზედა დადებითი მართკუთხა იმპულსები შეესაბამება C_2 კონდენსატორის დამუხტვის დენის არსებობას, ხოლო უარყოფითი მართკუთხა იმპულსები კი განმუხტვის დენის არსებობას. თუ ავლნიშნავთ VT1,2 ტრანზისტორებზე მართვის იმპულსებს $U_{\partial VT1,2}$ -ით მაშინ როდესაც $U_{\partial VT1,2} = 0$ ვაქვს $\rho_{C2}(t) = 1$, ხოლო $U_{\partial VT1,2} = 1$ გვაქვს $\rho_{C2}(t) = -1$, ე.ი. $\rho_{C2}(t) = 1 - 2U_{\partial VT1,2}$.

მდგ-ის U_{dc0} ძაბვის მიხედვით კომპუტაციური ფუნქცია $\Phi(t)$ წარმოადგენს $\rho_{C2}(t)$ კომპუტაციური ფუნქციის ერთამდე შემავსებელ გადართვის ფუნქციას (ნახ.17-დ):

$\Phi(t) = 1 - \rho_{C2}(t) = 2U_{\partial VT1,2}$. მდგ-ში $VD2$ -ის კათოდსა და $VD1$ -ის ანოდს შორის u_x ძაბვის კომუტაციური ფუნქცია ნაჩვენებია ნახ.17-ე-ზე. შესაბამისად გვაქვს:

$U_x = U_{dc}\rho_{C2}(t)$; U_{dc0} ძაბვის ფორმა ემთხვევა $\Phi(t)$ ფუნქციის მნიშვნელობებს და მისი მნიშვნელობა გამოითვლება ასე:

$$u_{dc0} = U_{dc} \Phi(t) = 2U_{dc} \cdot U_{\partial VT1,2}$$

მეორე მხრივ გვაქვს:

$$U_{dc0} = u_{dc} + \rho_{C2}(t)u_{C2}(t) = U_{dc} \Phi(t)$$

სი-ში $VT3 \div VT8$ ტრანზისტორების გადართვის კანონზომიერების უზრუნველსაყოფად ვიღებთ მართვის იმპულსების შესაბამის განლაგებას (ნახ.17-ზ).

ფაზური დენების $\rho_A(t)$, $\rho_B(t)$, $\rho_C(t)$, კომუტაციური ფუნქციების ცვალებადობის კანონი ნაჩვენებია ნახ-17-თ-ზე. კომუტაციური ფუნქციების არსებობა გრძელდება $\frac{2\pi}{3\omega}$ - ის შესაბამის დროში, ხოლო არ არსებობა გრძელდება $\frac{\pi}{3\omega}$ -ის შესაბამის დროში.

სამფაზა ცვლადი დენის ქსელის (ცდქ) ფაზური ძაბვების ტალღური დიაგრამები ნაჩვენებია ნახ.17 -ი-ზე. $t = t_0 = 0$ - დან $t = t_4$ მომენტამდე ცდქ-ის ფაზური ძაბვებიდან ყველაზე უარყოფითია u_A ძაბვა, ამიტომ ამ პერიოდში ღიაა $VT3$ ტრანზისტორი. $t = t_4$ - დან $t = t_4 + \frac{2\pi}{3\omega}$ -მდე ღიაა $VT5$ ტრანზისტორი; $t = t_4 + \frac{2\pi}{3\omega}$ -დან $t = t_4 + \frac{4\pi}{3\omega}$ -მდე ღიაა $VT7$ ტრანზისტორი. $t = t_0 = 0$ - დან $t = t_2$ მომენტამდე ღიაა $VT6$ ტრანზისტორი; $t = t_2$ -დან $t = t_2 + \frac{2\pi}{3\omega}$ -მდე ღიაა $VT8$ ტრანზისტორი. $t = t_2 + \frac{2\pi}{3\omega}$ -დან $t = t_2 + \frac{4\pi}{3\omega}$ -მდე ღიაა $VT4$ ტრანზისტორი; $t = t_2 + \frac{4\pi}{3\omega}$ -დან $t = t_2 + \frac{2\pi}{\omega}$ -მდე ღიაა $VT6$ ტრანზისტორი; $t = t_2 + \frac{2\pi}{\omega}$ -დან $t = t_2 + \frac{8\pi}{3\omega}$ -მდე ღიაა $VT8$ ტრანზისტორი. ასე შემდეგ პროცესი $VT3 \div VT8$ ტრანზისტორების გაღებისა წარმოებს ნახ.17-ზ-ზე ნაჩვენები თანმიმდევრობით[10].

3.2 მზის ფოტოელექტრული სადგურისა, მუდმივი დენის გარდამქმნელისა, ქსელის მიმყოლი სამფაზა ძაბვის ინვერტორისა და სამფაზა ცვლადი დენის ქსელის ერთობლივი მუშაობის ძირითადი რეჟიმები

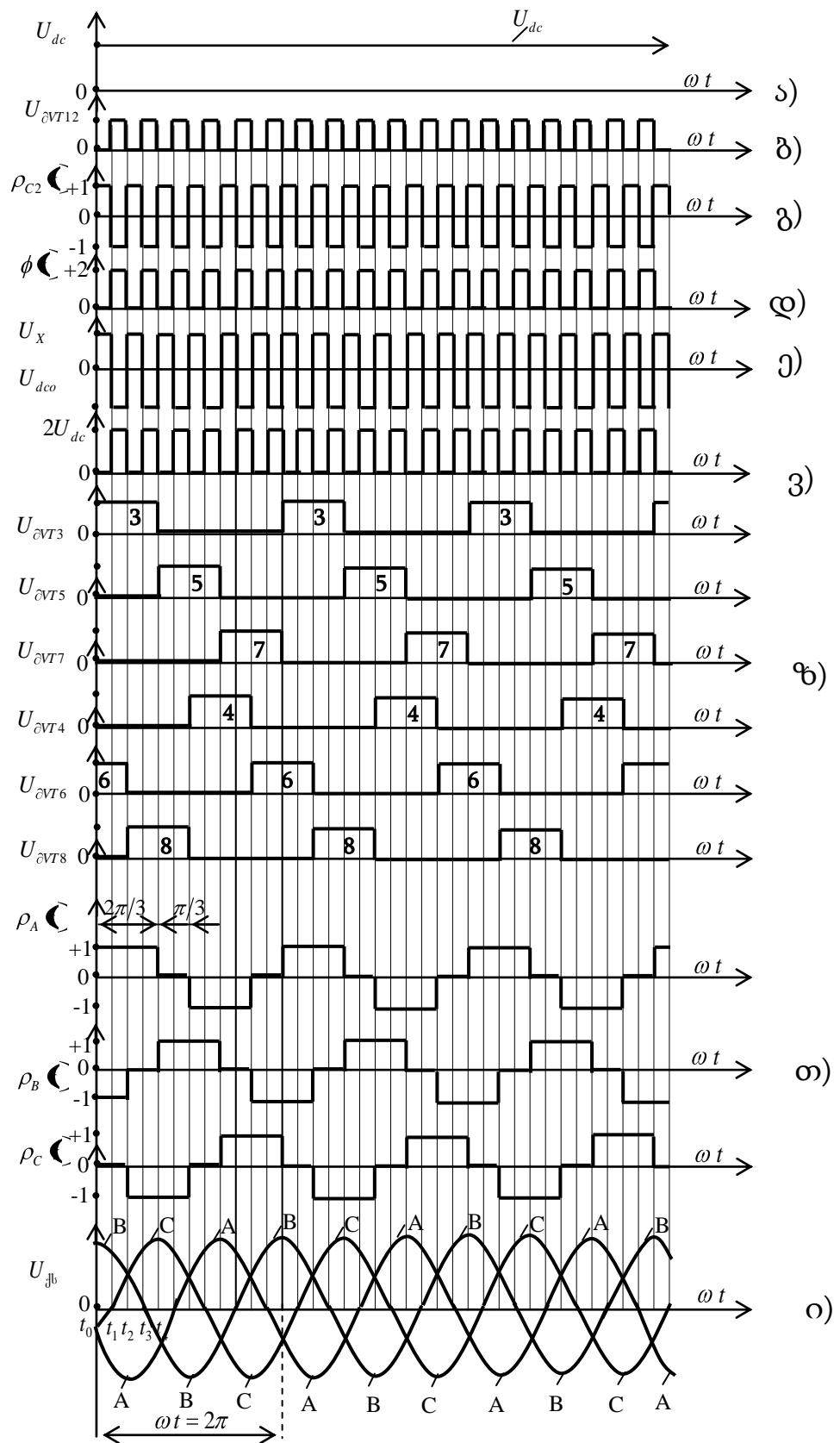
3.1 პარაგრაფში აღნიშნულიდან გამომდინარე მუდმივი დენის გარდამქმნელში (მდგ) $VT_{1,2}$ ტრანზისტორები სისტემის მუშაობის ყველა რეჟიმში ან ჩაკეტილია, ან ღია მდგომარეობაშია, ხოლო სამფაზა ინვერტორის (სი) $VT_{3} \div VT_{8}$ ტრანზისტორების ჩაკეტვა-გაღების მდგომარეობა მიმყოლია ცვლადი დენის ქსელის ფაზური ძაბვების ცვლილებასთან.

განხილვის ყურადღებას იპყრობს მზის ფოტოელექტრული სადგურისა და სამფაზა ცვლადი დენის ქსელის ერთობლივი მუშაობის ერთი მთლიანი ციკლისათვის 12 რეჟიმის განხილვა ($U_{dc} > U$)(ნახ.-17)[12].

I რეჟიმი: $VT_{1,2}$ ტრანზისტორები ჩაკეტილია $t = t_0 = 0$ მომენტიდან $t = t_1$ მომენტამდე. $VD3$ უკუდიოდი ღიაა მაშინ, როდესაც C_2 კონდენსატორზე ძაბვა მიაღწევს U_{EA} -ს. დენი მასში მიედინება ჩაკეტილ კონტურში, რომელიც გადის ელემენტებზე $L1, VT3, LA, LB, VT6, VD3, L1$, კონდენსატორი C_2 დამუხტულია U_{dc} ძაბვაზე.

II რეჟიმი: $VT_{1,2}$ ტრანზისტორები ღიაა $t = t_1$ - დან $t = t_2$ -მდე; $VD3$ დიოდი ჩაკეტილია. C_2 კონდენსატორი გადასცემს დაგროვილ ენერგიას ცვლადი დენის ქსელს (ცდქ) მის ბოლომდე განმუხტვამდე. i_{dc} დენი შეიკვრება ჩაკეტილ კონტურში, რომელიც გადის ელემენტებზე: $VT2; C2; VT1; L1; VT3; LA; LB; VT6; მზ; VT2$.

III რეჟიმი: $VT_{1,2}$ ტრანზისტორები ჩაკეტილია $t = t_2$ - დან $t = t_3$ -მდე, კონდენსატორი C_2 იმუხტება U_{dc} ძაბვისგან. $VD3$ დიოდი იღება,



ნახ.17. ერთიანი გარდამქმნელი სისტემის ფოტოელექტრული სადგურის გამოძავალი u_{dc} ძაბვის, მართვის იმპულსების კომუტაციური ფუნქციების და სამფაზა ცვლადი ქსელის ძაბვის დროზე დამოკიდებულების კანონზომიერება.

როდესაც კონდენსატორზე ძაბვა მიაღწევს ცვლადი დენის ქსელის U_{CA} ხაზურ ძაბვას. i_{dc} დენი შეიკვრება კონტურში, რომელიც გადის ელემენტებში: $VD1; C2; VD2; L1; VT3; LA; LC; VT8; \theta\theta; VD1$.

IV რეჟიმი: $VT1,2$ ტრანზისტორები ღიაა $t = t_3$ -დან $t = t_4$ -მდე. $VD3$ დიოდი ჩაკეტილია. C_2 კონდენსატორი გადასცემს დაგროვილ ენერგიას ცვლადი დენის ქსელს სრულ განმუხტვამდე. i_{dc} დენი შეიკვრება ჩაკეტილ კონტურში, რომელიც გადის ელემენტებზე: $VT2; C2; VT1; L1; VT3; LA; LC; VT8; \theta\theta; VT2$.

V რეჟიმი: $VT1,2$ ტრანზისტორები ჩაკეტილია $t = t_4$ - დან $t = t_4 + \frac{\pi}{6\omega}$ - მდე. კონდენსატორი C_2 იმუხტება U_{dc} ძაბვისაგან. $VD3$ დიოდი იღება, როცა კონდენსატორზე ძაბვა მიაღწევს ცვლადი დენის ქსელის U_{CB} ძაბვას. i_{dc} დენი შეიკვრება კონტურში, რომელიც გადის ელემენტებზე: $VD1; C2; VD2; L1; VT5; LB; LC; VT8; \theta\theta; VD1$.

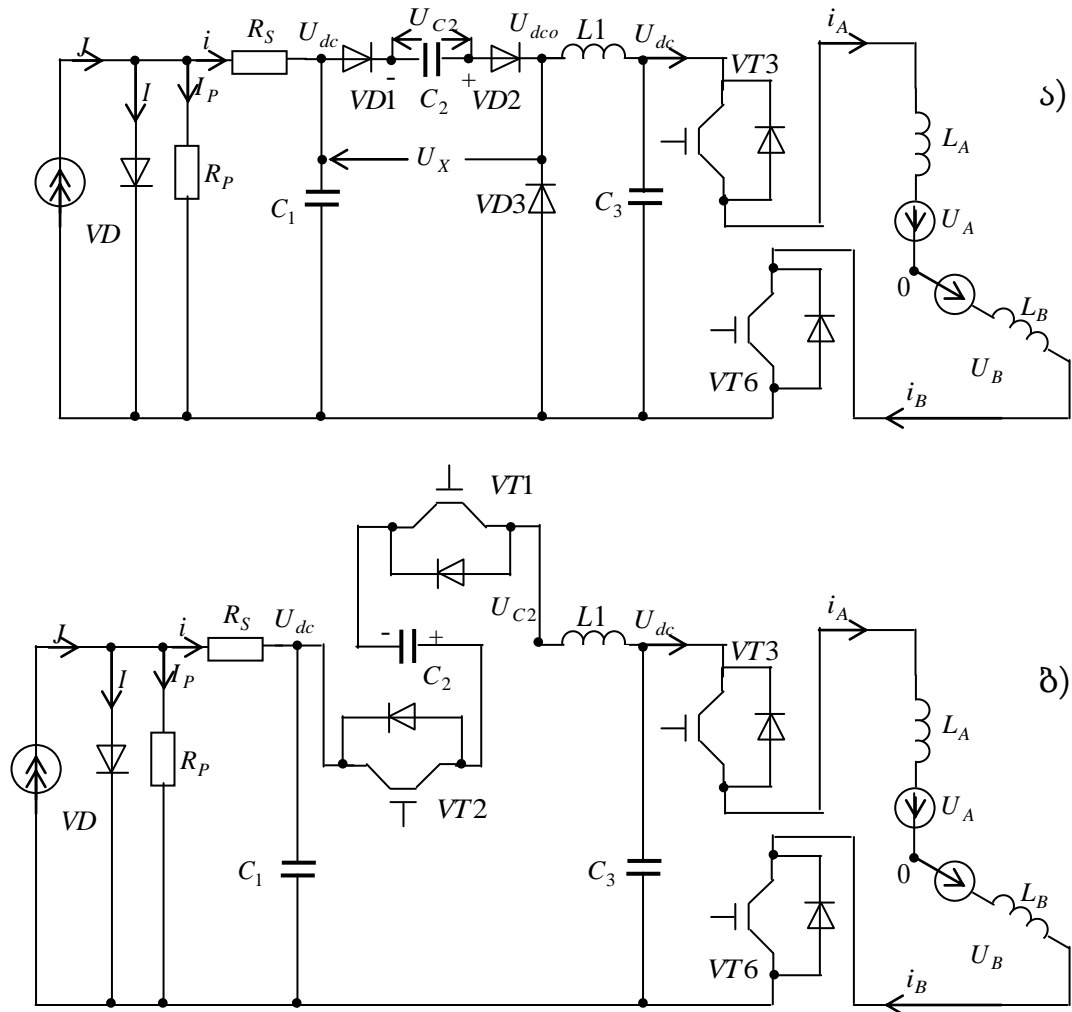
VI რეჟიმი: $VT1,2$ ტრანზისტორები ღიაა $t = t_4 + \frac{\pi}{6\omega}$ -დან $t = t_4 + \frac{\pi}{3\omega}$ - მდე. $VD3$ დიოდი ჩაკეტილია. C_2 კონდენსატორი გადასცემს დაგროვილ ენერგიას ცდქ-ს სრულ განმუხტვამდე. i_{dc} დენი შეიკვრება ჩაკეტილ კონტურში, რომელიც გადის ელემენტებზე: $VT2; C2; VT1; L1; VT5; LB; LC; VT8; \theta\theta; VT2$.

VII რეჟიმი: $VT1,2$ ტრანზისტორები ჩაკეტილია $t = t_4 + \frac{\pi}{3\omega}$ -დან $t = t_4 + \frac{\pi}{2\omega}$ -მდე. $VD3$ დიოდი იღება მაშინ, როცა C_2 კონდენსატორზე ძაბვა მიაღწევს U_{AB} -ს. კონდენსატორი C_2 იმუხტება U_{dc} ძაბვისაგან. i_{dc} დენი შეიკვრება ჩაკეტილ კონტურში, რომელიც გადის ელემენტებზე: $VD1; C2; VD2; L1; VT5; LB; LA; VT4; \theta\theta; VD1$.

VIII რეჟიმი: $VT1,2$ ტრანზისტორები ღიაა $t = t_4 + \frac{\pi}{3\omega}$ -დან $t = t_4 + \frac{2\pi}{3\omega}$ - მდე. $VD3$ დიოდი ჩაკეტილია. C_2 კონდენსატორი გადასცემს დაგროვილ ენერგიას ცდქ-ს სრულ განმუხტვამდე. i_{dc} დენი შეიკვრება ჩაკეტილ კონტურში, რომელიც გადის ელემენტებზე: $VT2; C2; VT1; L1; VT5; LB; LA; VT4; \theta\theta; VT2$.

IX რეჟიმი: $VT_{1,2}$ ტრანზისტორები ჩაკეტილია $t = t_4 + \frac{2\pi}{3\omega}$ - დან $t = t_4 + \frac{5\pi}{6\omega}$ -მდე. VD_3 დიოდი იღება მაშინ, როცა C_2 კონდენსატორზე ძაბვა მიაღწევს U_{AC} -ს. კონდენსატორი C_2 იმუხტება U_{dc} ძაბვისაგან. i_{dc} დენი შეიკვრება ჩაკეტილ კონტურში, რომელიც გადის ელემენტებზე: $VD_1; C_2; VD_2; L_1; VT_7; LC; LA; VT_4; \theta\theta; VD_1$.

X რეჟიმი: $VT_{1,2}$ ტრანზისტორები ღიაა $t = t_4 + \frac{5\pi}{6\omega}$ -დან $t = t_4 + \frac{\pi}{\omega}$ -მდე. VD_3 დიოდი ჩაკეტილია. C_2 კონდენსატორი გადასცემს დაგროვილ ენერგიას ცდქ-ს სრულ განმუხტვამდე. i_{dc} დენი შეიკვრება ჩაკეტილ კონტურში, რომელიც გადის ელემენტებზე: $VT_2; C_2; VT_1; L_1; VT_7; LC; LA; VT_4; \theta\theta; VT_2$.



ნახ.18. ჰიბრიდულ ავტონომიური ელექტროენერგეტიკული სისტემების პარალელური მუშაობის კენტი და ლუწი რეჟიმების საანგარიშო პრინციპული ელექტრული სქემა.

XI რეჟიმი: $VT_{1,2}$ ტრანზისტორები ჩაკეტილია $t = t_4 + \frac{\pi}{\omega}$ - დან $t = t_4 + \frac{7\pi}{6\omega}$ მდე. VD_3 დიოდი იღება მაშინ, როცა C_2 კონდენსატორზე ძაბვა მიაღწევს U_{BC} -ს. კონდენსატორი C_2 იმუხტება U_{dc} ძაბვისაგან. i_{dc} დენი შეიკვრება ჩაკეტილ კონტურში, რომელიც გადის ელემენტებზე: $VD_1; C_2; VD_2; L_1; VT_7; LC; LB; VT_6; \text{მზ}; VD_1$.

XII რეჟიმი: $VT_{1,2}$ ტრანზისტორები ღიაა $t = t_4 + \frac{7\pi}{6\omega}$ - დან $t = t_4 + \frac{4\pi}{3\omega} = \frac{2\pi}{3\omega} + \frac{4\pi}{3\omega} = \frac{2\pi}{\omega}$ -მდე. VD_3 დიოდი ჩაკეტილია. C_2 კონდენსატორი გასცემს დაგროვებულ ენერგიას ცდქ-ს სრულ განმუხტვამდე. i_{dc} დენი შეიკვრება ჩაკეტილ კონტურში, რომელიც გადის ელემენტებზე: $VT_2; C_2; VT_1; L_1; VT_7; LC; LB; VT_6; \text{მზ}; VT_2$. როგორც ნახ. 17 - დან ჩანს ცვლადი დენის ქსელის ერთი პერიოდის $T = \frac{2\pi}{\omega}$ განმავლობაში რეჟიმის რიცხვი $m_0 = 2n_0$. ჩვენს შემთხვევაში $n_0 = 6$. $n_0 = 12$ და $f_0 = 300$ კც.

ზემოთ ჩამოთვლილი რეჟიმებიდან კენტი რიგის რეჟიმების ამსახველი სქემის ტოპოლოგია სტრუქტურულად ერთმანეთის მსგავსია. ფიქსირდება $VD_{1,2}$ დიოდებისა და C_2 კონდენსატორის მიმდევრობითი შეერთებები. განსხვავება არის $VT_{13} + VT_8$ ძალოვანი ტრანზისტორების და ცვლადი სამფაზა ქსელის A, B, C ფაზების გადართვების თანმიმდევრობაში. ასევე ითქმის ყველა ლუწი რიგის რეჟიმების შესახებ, სადაც დაფიქსირებულია $VT_{1,2}$ ტრანზისტორების და C_2 კონდენსატორის მიმდევრობითი შეერთება.

ქვემოთ ნაჩვენებია ორი ერთმანეთისაგან განსხვავებული I (კენტი) და II (ლუწი) რეჟიმების საანგარიშო პრინციპული ელექტროსქემა(ნახ18,ა,ბ)

3.3 ჰიბრიდულ ავტონომიური ელექტროენერგეტიკული სისტემების პარალელური მუშაობის კენტი და ლუწი რეჟიმების ელექტრული წონასწორობის განტოლებები

ყველა კენტ და ლუწ რეჟიმებში ელექტრომაგნიტური გარდამავალი პროცესების საანგარიშო განტოლებებთან ერთად გაითვალისწინება მზის ელემენტების შენაცვლების სქემიდან გამომდინარე ვოლტ-ამპერული მახასიათებლის აღმწერი (25) კვადრატული განტოლება {21,37,40,13}.

$$U_{dc}^* = A_1(i^*)^2 - (1 + A_1)i^* + 1 \quad (121)$$

ნახ.18-ა სქემიდან კენტი რეჟიმებისათვის გვაქვს შემდეგი განტოლებები მყისა მნიშვნელობების მიმართ:

I რეჟიმი ($0 \leq \omega t \leq \frac{\pi}{6}$):

$$i = C_1 \frac{du_{c1}}{dt} + C_2 \frac{du_{c2}}{dt}; \quad (122)$$

$$u_1 = u_{c2} + u_{dc0}; \quad (123)$$

$$u_{dc0} = L_1 \frac{di_{L1}}{dt} + u_{c3}; \quad (124)$$

$$i_{L1} = C_3 \frac{du_{c3}}{dt} + i_A; \quad (125)$$

$$U_{dc} = u_{c2} + u_{dc0}; \quad (126)$$

$$u_{A0} = -U_{mc} \sin(\omega t + 30^\circ); \quad (127)$$

$$\sqrt{3}U_{mc} \sin(\omega t + 60^\circ) = 2R_A i_A + 2 \left(L_A + M^{11} - \frac{1}{2} M^{12} \right) \frac{di_A}{dt}; \quad (128)$$

$$\sqrt{3}U_{mc} \sin(\omega t + 60^\circ) = 2R_B i_B + 2 \left(L_B + M^{11} - \frac{1}{2} M^{12} \right) \frac{di_B}{dt}; \quad (129)$$

$$u_{c3} = u_{dc} = -\sqrt{3}U_{mc} \sin(\omega t + 60^\circ); \quad (130)$$

$$u_{c1} = u_{c2} + u_{dc0}; \quad i_A = i_B \quad (131)$$

(122)-(131) განტოლებების საფუძველზე სქემის ელექტრული სიდიდეების განსაზღვრის ალგორითმი მდგომარეობს შემდეგში:

- (130)-დან ვიღებთ C_3 კონდესატორზე U_{c3} ძაბვის მნიშვნელობას;
- (128), (129)-დან განვსაზღვრავთ დენს $i_A = i_B$;

- (130)-დან ვითვალისწინებთ ტოლობას $u_{dc} = u_{c3}$;
- (125)-დან განვსაზღვრავთ i_{L1} დენს;
- (124)-დან განვსაზღვრავთ u_{dc0} ძაბვას;
- (126)-დან განისაზღვრება u_{c2} ძაბვა;
- (131)-დან განისაზღვრება u_{c1} ძაბვა;
- (122)-დან განისაზღვრება i დენი;

განტოლებებში შემავალი კოეფიციენტები ნაჩვენებია ნახ.17-ზე.

III რეჟიმი $\left(\frac{2\pi}{6} \leq \omega t \leq \frac{3\pi}{6}\right)$:

$$i_A = i_C ; \quad (132)$$

$$u_{dc} = u_{c3} = u_{Ac} = u_{A0} - u_{c0} ; \quad (133)$$

$$u_{A0} = -U_{mc} \sin(\omega t + 90^0) ; \quad (134)$$

$$u_{c0} = U_{mc} \sin(\omega t + 30^0) ; \quad (135)$$

$$u_{c3} = u_{dc} = -\sqrt{3}U_{mc} \sin(\omega t + 60^0) ; \quad (136)$$

$$i = C_1 \frac{du_{c1}}{dt} + C_2 \frac{du_{c2}}{dt} ; \quad (137)$$

$$u_{c1} = u_{c2} + u_{dc0} ;$$

$$u_{dc0} = L_1 \frac{di_{L1}}{dt} + u_{c3} ; \quad (138)$$

$$i_{L1} = C_3 \frac{du_{c3}}{dt} + i_A ; \quad (139)$$

$$\sqrt{3}U_{mc} \sin(\omega t + 60^0) = 2R_A i_A + 2 \left(L_A + M^{11} - \frac{1}{2} M^{12} \right) \frac{di_A}{dt} ; \quad (140)$$

$$\sqrt{3}U_{mc} \sin(\omega t + 60^0) = 2R_C i_C + 2 \left(L_C + M^{11} - \frac{1}{2} M^{12} \right) \frac{di_C}{dt} ; \quad (141)$$

V რეჟიმი $\left(\frac{4\pi}{6} \leq \omega t \leq \frac{5\pi}{6}\right)$:

$$i_B = i_C ; \quad (142)$$

$$u_{c3} = u_{dc} = -\sqrt{3}U_{mc} \sin(\omega t + 60^0) ; \quad (143)$$

$$u_{B0} = -U_{mc} \sin(\omega t + 30^0) ; \quad (144)$$

$$u_{c0} = U_{mc} \sin(\omega t + 90^0) ; \quad (145)$$

$$i = C_1 \frac{du_{c1}}{dt} + C_2 \frac{du_{c2}}{dt} ; \quad (146)$$

$$u_{c1} = u_{c2} + u_{dc0} ; \quad (147)$$

$$u_{dc0} = L_1 \frac{di_{L1}}{dt} + u_{c3} ; \quad (148)$$

$$i_{L1} = C_3 \frac{du_{c3}}{dt} + i_B; \quad (149)$$

$$\sqrt{3}U_{mc} \sin(\omega t + 60^0) = 2R_B i_B + 2 \left(L_B + M^{11} - \frac{1}{2} M^{12} \right) \frac{di_B}{dt}; \quad (150)$$

$$\sqrt{3}U_{mc} \sin(\omega t + 60^0) = 2R_C i_C + 2 \left(L_C + M^{11} - \frac{1}{2} M^{12} \right) \frac{di_C}{dt}; \quad (151)$$

VII რეჟიმი $\left(\frac{6\pi}{6} \leq \omega t \leq \frac{7\pi}{6} \right)$:

$$i_B = i_A; \quad (152)$$

$$u_{c3} = u_{dc} = u_{BA} = u_{BO} - u_{AO}; \quad (153)$$

$$u_{BO} = -U_{mc} \sin(\omega t + 90^0); \quad (154)$$

$$u_{AO} = U_{mc} \sin(\omega t + 30^0); \quad (155)$$

$$u_{c3} = u_{dc} = -\sqrt{3}U_{mc} \sin(\omega t + 60^0); \quad (156)$$

i დენი, u_{c1} ძაბვა, u_{dc0} ძაბვა და i_{L1} დენი გამოისახებიან (146), (147), (148) და (149) გამოსახულებებით.

$$\sqrt{3}U_{mc} \sin(\omega t + 60^0) = 2R_B i_B + 2 \left(L_B + M^{11} - \frac{1}{2} M^{12} \right) \frac{di_B}{dt}; \quad (157)$$

$$\sqrt{3}U_{mc} \sin(\omega t + 60^0) = 2R_A i_A + 2 \left(L_A + M^{11} - \frac{1}{2} M^{12} \right) \frac{di_A}{dt}; \quad (158)$$

IX რეჟიმი $\left(\frac{8\pi}{6} \leq \omega t \leq \frac{9\pi}{6} \right)$:

$$i_C = i_A; \quad (159)$$

$$u_{c3} = u_{dc} = u_{CA} = u_{CO} - u_{AO}; \quad (160)$$

$$u_{CO} = -U_{mc} \sin(\omega t + 30^0); \quad (161)$$

$$u_{AO} = U_{mc} \sin(\omega t + 90^0); \quad (162)$$

$$u_{c3} = u_{dc} = -\sqrt{3}U_{mc} \sin(\omega t + 60^0); \quad (163)$$

$$\sqrt{3}U_{mc} \sin(\omega t + 60^0) = 2R_C i_C + 2 \left(L_C + M^{11} - \frac{1}{2} M^{12} \right) \frac{di_C}{dt}; \quad (164)$$

$$\sqrt{3}U_{mc} \sin(\omega t + 60^0) = 2R_A i_A + 2 \left(L_A + M^{11} - \frac{1}{2} M^{12} \right) \frac{di_A}{dt}; \quad (165)$$

აქაც და XI რეჟიმისათვის

i , u_{c1} , u_{dc0} და i_{L1} სიდიდეები განისაზღვრებიან შესაბამისად (146)-(149) გამოსახულებებით.

XI რეჟიმი $\left(\frac{10\pi}{6} \leq \omega t \leq \frac{11\pi}{6} \right)$:

$$i_C = i_B; \quad (166)$$

$$u_{c3} = u_{dc} = u_{CB} = u_{CO} - u_{BO}; \quad (167)$$

$$u_{CO} = -U_{mc} \sin(\omega t + 90^0); \quad (168)$$

$$u_{BO} = U_{mc} \sin(\omega t + 30^0); \quad (169)$$

$$u_{c3} = u_{dc} = -\sqrt{3}U_{mc} \sin(\omega t + 60^0); \quad (170)$$

$$\sqrt{3}U_{mc} \sin(\omega t + 60^0) = 2R_C i_C + 2 \left(L_C + M^{11} - \frac{1}{2} M^{12} \right) \frac{di_C}{dt}; \quad (171)$$

$$\sqrt{3}U_{mc} \sin(\omega t + 60^0) = 2R_B i_B + 2 \left(L_B + M^{11} - \frac{1}{2} M^{12} \right) \frac{di_B}{dt}; \quad (172)$$

ნახ.18-ბ სქემიდან ლუწი რეჟიმებისათვის გვაქვს შემდეგი განტოლებები მყისა მნიშვნელობების მიმართ:

II რეჟიმი $\left(\frac{\pi}{6} \leq \omega t \leq \frac{2\pi}{6} \right)$:

$$i_A = i_B; \quad i_{VD3} = 0; \quad i_{C2} = i_{L1}; \quad (173)$$

$$u_{dc} = u_{c2} + u_{dc0}; \quad u_{dc0} = u_{L1} + u_{dc}; \quad (174)$$

$$u_{dc} = u_{c3} = u_{AO} - u_{BO}; \quad (175)$$

$$u_{AO} = -U_{mc} \sin(\omega t + 60^0); \quad (176)$$

$$u_{BO} = U_{mc} \sin(\omega t + 120^0); \quad (177)$$

$$u_{dc} = u_{c3} = \sqrt{3}U_{mc} \sin(\omega t + 90^0); \quad (178)$$

$$U_{mc} \sin 60^0 \sin(\omega t + 90^0) = R_C i_A + \left(L_C + M^{11} - \frac{1}{2} M^{12} \right) \frac{di_A}{dt}; \quad (179)$$

IV რეჟიმი $\left(\frac{3\pi}{6} \leq \omega t \leq \frac{4\pi}{6} \right)$:

ყველა წყვილ რეჟიმში სამართლიანია (173)-(178) გამოსახულებები $i_A = i_B$ ტოლობის გარდა.

შესაბამისად ამ რეჟიმში გვაქვს შემდეგი განტოლებები:

$$i_A = i_C; \quad (180)$$

$$U_{mc} \sin 60^0 \sin(\omega t + 90^0) = R_C i_A + \left(L_C + M^{11} - \frac{1}{2} M^{12} \right) \frac{di_A}{dt}; \quad (181)$$

VI რეჟიმი $\left(\frac{5\pi}{6} \leq \omega t \leq \frac{6\pi}{6} \right)$:

$$i_B = i_C; \quad (182)$$

$$U_{mc} \sin 60^0 \sin(\omega t + 90^0) = R_C i_B + \left(L_C + M^{11} - \frac{1}{2} M^{12} \right) \frac{di_B}{dt}; \quad (183)$$

VIII რეჟიმი $\left(\frac{7\pi}{6} \leq \omega t \leq \frac{8\pi}{6} \right)$:

$$i_B = i_A; \quad (184)$$

$$U_{mc} \sin 60^0 \sin(\omega t + 90^0) = R_C i_B + \left(L_C + M^{11} - \frac{1}{2} M^{12} \right) \frac{di_B}{dt}; \quad (185)$$

X რეჟიმი $\left(\frac{9\pi}{6} \leq \omega t \leq \frac{10\pi}{6}\right)$:

$$i_C = i_A; \quad (186)$$

$$U_{mc} \sin 60^\circ \sin(\omega t + 90^\circ) = R_C i_C + \left(L_C + M^{11} - \frac{1}{2} M^{12}\right) \frac{di_C}{dt}; \quad (187)$$

XII რეჟიმი $\left(\frac{11\pi}{6} \leq \omega t \leq \frac{12\pi}{6}\right)$:

$$i_C = i_B; \quad (188)$$

$$U_{mc} \sin 60^\circ \sin(\omega t + 90^\circ) = R_C i_C + \left(L_C + M^{11} - \frac{1}{2} M^{12}\right) \frac{di_C}{dt}; \quad (189)$$

როგორც მიღებული განტოლებებიდან ჩანს აქ გათვალისწინებულია სამფაზა ცვლადი დენის ქსელის ექვივალენტური აქტიური წინაღობა $2R_K (K = A, B, C)$ და ექვივალენტური ინდუქციურობა $2\left(L_K + M^{11} - \frac{1}{2} M^{12}\right) (K = A, B, C)$ სადაც $L_K (K = A, B, C)$ თითოეული ფაზის ინდუქციურობაა, M^{11} თითოეული ფაზის სრული ინდუქციურობაა, ხოლო M^{12} კი ფაზებს შორის ურთიერთ ინდუქციურობაა.

გარდა ამისა, კენტ რეჟიმებში ექვივალენტური სინუსოიდების ამპლიტუდების მნიშვნელობები ორჯერ მეტია ლუწ რეჟიმში ექვივალენტური სინუსოიდების ამპლიტუდებზე.

თითოეული რეჟიმებში წარმოდგენილი განტოლებების საფუძველზე შესაბამისი სქემისათვის ყველა ელექტრული სიდიდეების სრულად განსაზღვრისათვის ვიყენებთ I რეჟიმისათვის წარმოდგენილ ალგორითმებს.

3.4 ჰიბრიდულ ავტონომიური ელექტროენერგეტიკული სისტემების ელექტრული წონასწორობის განტოლებების ამოხსნა.

(122) და (189) ელექტრული წონასწორობის განტოლებების ამოხსნის პროცესში შემოვიღოთ შემდეგი ექვივალენტური პარამეტრების და

ელექტრული სიდიდეების თითოეული რეჟიმებში საწყისი მნიშვნელობების მოცემული პარამეტრებზე დამოკიდებულების გამოსახულებები:

- სამფაზა ცვლადი დენის ქსელის ექვივალენტური სრული წინაღობა:

$$Z_c = \sqrt{R_c^2 + (\omega L_c)^2}; \quad (190)$$

- ექვივალენტური სრული ინდუქციურობა:

$$L_c = L_k + M^{11} - \frac{1}{2}M^{12}; \quad (191)$$

- სამფაზა ცვლადი დენის ქსელის ფაზურ ძაბვასა და ხაზურ დენს შორის ძვრის კუთხის 90^0 -მდე შემავსებელი (დამატებითი) კუთხე:

$$\varphi_c = \arctg \frac{R_c}{\omega L_c}; \quad (192)$$

- ცვლადი დენის ქსელის დროის მუდმივა:

$$\tau_c = \frac{L_c}{R_c}; \quad (193)$$

- ქსელის ხაზური დენების ექვივალენტური ამპლიტუდების განზოგადებული კოეფიციენტები ნებისმიერი n - ინტერვალისათვის ნებისმიერი k -ფაზებისათვის ($k = A, B, C; n = 1, 2, 3 \dots$)

$$\left. \begin{aligned} -I_{km1}^{2n-1} &= \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot \frac{U_{mc}}{Z_c}; & I_{km1}^{2n} &= \sqrt{3} \cdot \frac{U_{mc}}{Z_c} \\ I_{km2}^{2n-1} &= \frac{U_{mc} \left(\frac{\sqrt{3}}{4} \omega L_c - \frac{3}{4} R_c \right)}{R_c^2 + (\omega L_c)^2}; & I_{km2}^{2n} &= \frac{\frac{\sqrt{3}}{2} U_{mc} \cdot R_c}{Z_c^2} \end{aligned} \right\} \quad (194)$$

- ცვლადი დენის ქსელის ხაზური დენების განზოგადებული საწყისი მნიშვნელობები ნებისმიერი n - რეჟიმის შესაბამისი ინტერვალისათვის:

$$i_k^{2n-1}(0) = i_k^{2(n-1)}(0) e^{-2(n-1) \frac{\pi}{6\omega\tau_c}} - I_{km1}^{2n} \cos \left[2(n-1) \frac{\pi}{6} + \varphi_c + 90^0 \right] - I_{km2}^{2n} e^{-2(n-1) \frac{\pi}{6\omega\tau_c}}, \quad k=A,B,C; \quad n=2,3,4,\dots \quad (195)$$

$$i_k^{2n}(0) = i_k^{2n-1}(0) e^{-2(n-1) \frac{\pi}{6\omega\tau_c}} - I_{km1}^{2n} \cos \left[(2n-1) \frac{\pi}{6} + \varphi_c + 60^0 \right] + I_{km2}^{2n-1} e^{-(2n-1) \frac{\pi}{6\omega\tau_c}}, \quad k=A,B,C; \quad n=1,2,3, \dots \quad (196)$$

- მუდმივი დენის გარდამქმნელის (მდგ) გამოსავალზე U_{dco} ძაბვის ექვივალენტური მდგენელების კოეფიციენტები:

$$U_{dco1}^{2n} = \left\{ \left[\sqrt{3} U_{mc} (\omega^2 L_1 C_3 - 1) + \omega L_1 \cdot I_{km1}^{2n} \cdot \cos \varphi_c \right]^2 + (\omega L_1 I_{km1}^{2n} \sin \varphi_c)^2 \right\}^{\frac{1}{2}} \quad (197)$$

$$U_{dco2}^{2n} = \frac{L_1}{\tau_c} [i_k^{2n}(0) - I_{km2}^{2n}] e^{-\frac{t_{2n}}{\tau_c}}, \quad k=A,B,C; \quad n=1,2,3, \dots \quad (198)$$

- U_{dco} ძაბვასა და $i_{c2} = i_{L1}$ დენს შორის ექვივალენტური ძვრის კუთხე:

$$\varphi_{udco}^{2n} = \arctg \frac{\omega L_1 I_{km1}^{2n} \sin \varphi_c}{\sqrt{3} U_{mc} (\omega^2 L_1 C_3 - 1) + \omega L_1 I_{km1}^{2n} \cos \varphi_c}; \quad (199)$$

- u_{c2} ძაბვის ექვივალენტური მდგენელების კოეფიციენტები:

$$-u'_{c2} =$$

$$= \left\{ \left[\sqrt{3} U_{mc} (\omega^2 L_1 C_3 - 1) + \omega L_1 I_{km1}^{2n-1} \cos \varphi_c \right]^2 + (\omega L_1 I_{km1}^{2n-1} \sin \varphi_c)^2 \right\}^{\frac{1}{2}} \quad (200)$$

$$u''_{c2} = \frac{L_1}{\tau_c} [i_k^{2n-1}(0) + I_{km2}^{2n-1}], \quad k=A,B,C; \quad n=1,2,3, \dots \quad (201)$$

- ფოტოელექტრული სადგურის გამოსავალზე ან მდგ-ის შესავალზე i დენის კოეფიციენტები:

$$i'_{2n-1} = \sqrt{3} U_{mc} \cdot \omega c_2 \left\{ \left[\omega L_1 \left(\omega C_3 + \frac{1}{2} G_c \right) - 1 \right]^2 + \left(\frac{1}{2} B_c \omega L_1 \right)^2 \right\}^{\frac{1}{2}}; \quad (202)$$

$$i''_{2n-1} = \frac{L_1 C_2}{\tau_c^2} \left[i_k^{2n-1}(0) + U_{mc} \cdot \frac{\sqrt{3}}{4} (B_c - \sqrt{3} G_c) \right], \quad (203)$$

$$i'_{2n} = \sqrt{3} U_{mc} \omega c_2 \left\{ \left[\omega L_1 (\omega C_3 + G_c) - 1 \right]^2 + (\omega L_1 B_c)^2 \right\}^{\frac{1}{2}}; \quad (204)$$

$$i''_{2n} = \frac{L_1 C_2}{\tau_c^2} \left[i_k^{2n}(0) - \frac{\sqrt{3}}{2} U_{mc} G_c \right] \quad (205)$$

- შესაბამის ინტერვალებში i დენსა და U_{dc} ძაბვას შორის ექვივალენტური ძვრის კუთხეები:

$$\varphi'_i = \arctg \frac{\frac{1}{2} \omega L_1 B_c}{\omega L_1 \left(\omega C_3 + \frac{1}{2} G_c \right) - 1}; \quad (206)$$

$$\varphi''_i = \arctg \frac{\omega L_1 B_c}{\omega L_1 (\omega C_3 + G_c) - 1}; \quad (207)$$

- სამფაზა ცვლადი დენის ქსელის აქტიური G_c და რეაქტიული B_c გამტარობები:

$$G_c = \frac{R_c}{R_c^2 + (\omega L_c)^2}; \quad (208)$$

$$B_c = \frac{\omega L_c}{R_c^2 + (\omega L_c)^2}; \quad (209)$$

განტოლებების ამოხსნის შედეგად თითოეული ელექტრული სიდიდეებისათვის ვღებულობთ ნებისმიერი $2n - 1$ კენტი და $2n$ ლუწი რეჟიმებისათვის შემდეგ გამოსახულებებს[9,10]:

$$i^{2n-1}(t_{2n-1}) = -i'_{2n-1} \cos(\omega t_{2n-1} + \varphi'_i + 60^\circ) - i''_{2n-1} e^{-\frac{t_{2n-1}}{\tau_c}}; \\ k=A,B,C; \quad n=1,2,3, \dots \quad (210)$$

$$i^{2n}(t_{2n}) = -i'_{2n} \cos(\omega t_{2n} + \varphi''_i + 90^\circ) - i''_{2n} e^{-\frac{t_{2n}}{\tau_c}}; \\ k=A,B,C; \quad n=1,2,3, \dots \quad (211)$$

$$i_{c1}^{2n-1}(t_{2n-1}) = 0; \quad i_{c1}^{2n}(t_{2n}) = 0; \quad (212)$$

$$u_{c1}^{2n-1}(t_{2n-1}) = U_{dc}; \quad u_{c1}^{2n}(t_{2n}) = U_{dc}; \quad (213)$$

$$u_{c2}^{2n-1}(t_{2n-1}) = U_{dc} - u'_{c2} \sin(\omega t_{2n-1} + \varphi_{uc2} + 60^\circ) + u''_{c2} e^{-\frac{t_{2n-1}}{\tau_c}}; \\ k=A,B,C; \quad n=1,2,3, \dots \quad (214)$$

$$u_{c2}^{2n}(t_{2n}) = U_{dc} - u'_{dc0} \sin(\omega t_{2n} + \varphi_{udc0} + 90^\circ) + u''_{dc0} e^{-\frac{t_{2n}}{\tau_c}}; \\ k=A,B,C; \quad n=1,2,3, \dots \quad (215)$$

$$u_{dco}^{2n-1}(t_{2n-1}) = u_{dco1}^{2n-1} \sin(\omega t_{2n-1} + \varphi_{udco}^{2n-1} + 60^\circ) - u_{dco2}^{2n-1} e^{-\frac{t_{2n-1}}{\tau_c}}; \\ k=A,B,C; \quad n=1,2,3, \dots \quad (216)$$

$$u_{dco}^{2n}(t_{2n}) = u_{dco1}^{2n} \sin(\omega t_{2n} + \varphi_{udco}^{2n} + 90^\circ) - u_{dco2}^{2n} e^{-\frac{t_{2n}}{\tau_c}}; \\ k=A,B,C; \quad n=1,2,3, \dots \quad (217)$$

(216) გამოსახულებაში კოეფიციენტებისათვის გვაქვს:

$$u_{dco1}^{2n-1} = \left\{ \left[\sqrt{3} U_{mc} (\omega^2 L_1 C_3 - 1) + \omega L_1 I_{km1}^{2n-1} \cos \varphi_c \right]^2 + (\omega L_1 I_{km1}^{2n-1} \sin \varphi_c)^2 \right\}^{\frac{1}{2}}; \\ k=A,B,C; \quad n=1,2,3, \dots \quad (218)$$

$$u_{dco2}^{2n-1} = \frac{L_1}{\tau_c} [i_k^{2n-1}(0) + I_{km2}^{2n-1}] e^{-\frac{t_{2n-1}}{\tau_c}}, \quad k=A,B,C; \quad n=1,2,3, \dots \quad (218')$$

ექვივალენტური კუთხისათვის გვაქვს:

$$\varphi_{udco}^{2n-1} = \operatorname{arctg} \frac{\omega L_1 I_{km1}^{2n-1} \sin \varphi_c}{\sqrt{3} U_{mc} (\omega^2 L_1 C_3 - 1) + \omega L_1 I_{km1}^{2n-1} \cos \varphi_c}$$

$$k=A,B,C; \quad n=1,2,3, \dots \quad (219)$$

$$i_{L1}^{2n-1}(t_{2n-1}) = -\sqrt{3} U_{mc} \cdot \omega c_3 \cos(\omega t_{2n-1} + 60^\circ) -$$

$$-I_{km1}^{2n-1} \cos(\omega t_{2n-1} + \varphi_c + 60^\circ) + [i_k^{2n-1}(0) + I_{km2}^{2n-1}] e^{-\frac{t_{2n-1}}{\tau_c}};$$

$$k=A,B,C; \quad n=1,2,3, \dots \quad (220)$$

$$i_{L1}^{2n}(t_{2n}) = -\sqrt{3} U_{mc} \cdot \omega c_3 \cos(\omega t_{2n} + 90^\circ) -$$

$$-I_{km1}^{2n} \cos(\omega t_{2n} + \varphi_c + 90^\circ) + [i_k^{2n}(0) - I_{km2}^{2n}] e^{-\frac{t_{2n}}{\tau_c}};$$

$$k=A,B,C; \quad n=1,2,3, \dots \quad (221)$$

$$i_k^{2n-1}(t_{2n-1}) = -I_{km1}^{2n-1} \cos(\omega t_{2n-1} + \varphi_c + 60^\circ) + [i_k^{2n-1}(0) + I_{km2}^{2n-1}] e^{-\frac{t_{2n-1}}{\tau_c}};$$

$$k=A,B,C; \quad n=1,2,3, \dots \quad (222)$$

$$i_k^{2n}(t_{2n}) = -I_{km1}^{2n} \cos(\omega t_{2n} + \varphi_c + 90^\circ) + [i_k^{2n}(0) - I_{km2}^{2n}] e^{-\frac{t_{2n}}{\tau_c}};$$

$$k=A,B,C; \quad n=1,2,3, \dots \quad (223)$$

მიღებული (210)-(220) გამოსახულებები საშუალებებს იძლევიან განვსაზღვროთ შესაბამისი ელექტრული სიდიდეები, როგორც დამყარებულ, ასევე გარდამავალ პროცესებში.

ყველა ელექტრული სიდიდე დროის ერთი და იგივე მომენტში აღწევს თავის დამყარებულ მნიშვნელობებს.

იმისათვის, რომ განისაზღვროს იმ n ინტერვალის ნომრის მნიშვნელობა, რომლის დროსაც მყარდება დამყარებული პროცესი და წინა კენტი ინტერვალში რომელიმე ელექტრული საშუალო მნიშვნელობა ტოლი ხდება მომდევნო ლუწი ინტერვალში იმავე ელექტრული სიდიდის საშუალო მნიშვნელობისა, საჭიროა ჩატარდეს ასეთი გაანგარიშების პროცესი:

ვიღებთ ზოგადობის შეუზღუდავად $i^{2n-1}(t_{2n-1})$ და $i^{2n}(t_{2n})$ გამოსახულებების მნიშვნელობებს შესაბამისად $2n - 1$ და $2n$ ინტერვალისათვის. (210), (211) გამოსახულების საფუძველზე თითოეულ ინტერვალში ამ დენის საშუალო მნიშვნელობა გამოისახება ფორმულით:

$$I^{2n-1} = \frac{1}{\pi/6} \int_{\frac{2(n-1)\pi}{6}}^{\frac{(2n-1)\pi}{6}} i^{2n-1}(\omega t_{2n-1}) d(\omega t_{2n-1}); \quad n = 1, 2, 3, \dots; \quad (224)$$

$$I^{2n} = \frac{1}{\pi/6} \int_{\frac{(2n-1)\pi}{6}}^{\frac{2n\pi}{6}} i^{2n}(\omega t_{2n}) d(\omega t_{2n}); \quad n = 1, 2, 3, \dots \quad (225)$$

(210)გამოსახულების ჩასმა (224)-ში ხოლო (211) გამოსახულების ჩასმა (225)-ში გარდაქმნებისა და ინტეგრალის ამოღების შემდეგ გვაძლევს შემდეგ მნიშვნელობებს:

$$I^{2n-1} = \frac{6}{\pi} \left[A \cos \left(\frac{4n-3}{2} \cdot \frac{\pi}{6} + \varphi_i^{2n-1} \right) - B \omega \tau_c e^{-\frac{(2n-1)\pi/6}{\omega \tau_c}} \cdot \left(1 - e^{-\frac{\pi/6}{\omega \tau_c}} \right) \right] \quad n=1, 2, 3, \dots \quad (226)$$

$$I^{2n} = \frac{6}{\pi} \left[C \cos \left(\frac{4n-1}{2} \cdot \frac{\pi}{6} + \varphi_i^{2n} \right) - D \omega \tau_c e^{-\frac{2n\pi/6}{\omega \tau_c}} \cdot \left(1 - e^{-\frac{\pi/6}{\omega \tau_c}} \right) \right] \quad n=1, 2, 3, \dots, \quad (227)$$

სადაც (226),(227) გამოსახულებებში შემავალი ექვივალენტური პარამეტრებისათვის გვაქვს:

$$\left. \begin{aligned} A &= -\sqrt{3} U_{mc} \cdot Y_{\text{მდ}}^{2n-1}; \\ B &= -\mu \left[i_k^{2n-1}(0) + \frac{\sqrt{3}}{4} U_{mc} (B_c - \sqrt{3} G_c) \right]; \\ C &= -\sqrt{3} U_m \cdot Y_{\text{მდ}}^{2n}; \\ D &= -\mu \left[i_k^{2n}(0) - \frac{\sqrt{3}}{2} U_{mc} \cdot G_c \right]. \end{aligned} \right\} \quad (228)$$

(228) ექვივალენტური პარამეტრების გამოსახულებებში შესაბამისი ექვივალენტური კოეფიციენტებისათვის გვაქვს:

$$\mu = \frac{\omega^2 L_1 C_2}{(\omega \tau_c)^2}; \quad \varphi_i^{2n-1} = 60^\circ + \operatorname{arctg} \frac{\frac{1}{2} B_c}{\left(\omega C_3 - \frac{1}{\omega L_1} \right) + \frac{1}{2} G_c};$$

$$\varphi_i^{2n} = 90^\circ + \operatorname{arctg} \frac{B_c}{\left(\omega C_3 - \frac{1}{\omega L_1} \right) + G_c};$$

$$Y_{\text{მდ}}^{2n-1} = \omega^2 L_1 C_2 \left\{ \left[\left(\omega C_3 - \frac{1}{\omega L_1} \right) + \frac{1}{2} G_c \right]^2 + \left(\frac{1}{2} B_c \right)^2 \right\}^{1/2};$$

$$Y_{333}^{2n} = \omega^2 L_1 C_2 \left\{ \left[\left(\omega C_3 - \frac{1}{\omega L_1} \right) + G_c \right]^2 + B_c^2 \right\}^{1/2}; \quad (229)$$

ამის შემდეგ გავუტოლოთ ერთმანეთს I^{2n-1} დენის საშუალო მნიშვნელობა I^{2n} დენის საშუალო მნიშვნელობას:

$$I^{2n-1} = I^{2n} \quad (230)$$

(226), (227) გამოსახულებების გათვალისწინება (230)-ში, მოგვცემს შემდეგ ტოლობას:

$$\begin{aligned} A \cdot \cos\left(\frac{4n-3}{2} \cdot \frac{\pi}{6} + \varphi_i^{2n-1}\right) - C \cdot \cos\left(\frac{4n-1}{2} \cdot \frac{\pi}{6} + \varphi_i^{2n}\right) = \\ = \omega \tau_c \left(1 - e^{-\frac{\pi}{6\omega\tau_c}}\right) \cdot \left[B \cdot e^{-\frac{(2n-1)\pi/6}{\omega\tau_c}} - D \cdot e^{-\frac{2n\pi/6}{\omega\tau_c}} \right]; \end{aligned} \quad (231)$$

(231) ტოლობა შესრულდება მხოლოდ და მხოლოდ იმ შემთხვევაში, როცა ცალ-ცალკე ტოლობის მარჯვენა მხარე და მარცხენა მხარეც არის ნულის ტოლი. ამის გათვალისწინებით (231)-დან ვღებულობთ ორ დამოუკიდებელ ტოლობას:

$$A \cdot \cos\left(n \cdot \frac{\pi}{3} + \varphi_i^{2n-1} - \frac{\pi}{4}\right) - C \cdot \cos\left(n \cdot \frac{\pi}{3} + \varphi_i^{2n} - \frac{\pi}{12}\right) = 0; \quad (232)$$

$$B \cdot e^{-\frac{n\pi/6}{\omega\tau_c}} - D \cdot e^{-\frac{n\pi/6}{\omega\tau_c}} = 0; \quad n = 1, 2, 3, \dots \quad (233)$$

(232) ტოლობიდან გვაქვს:

$$n = -\frac{3}{\pi} \arctg \left[\frac{A \sin\left(\varphi_i^{2n-1} - \frac{\pi}{4}\right) - C \sin\left(\varphi_i^{2n} - \frac{\pi}{12}\right)}{A \cos\left(\varphi_i^{2n-1} - \frac{\pi}{4}\right) - C \cos\left(\varphi_i^{2n} - \frac{\pi}{12}\right)} \right] + \frac{3}{2} (4k \pm 1); \quad (234)$$

(233) ტოლობიდან გვაქვს:

$$n = 1 + \frac{6}{\pi} \omega \tau_c \ln \frac{B}{D}; \quad (235)$$

(234) და (235) წარმოადგენენ (231) განტოლების ექვივალენტურ ამონახსნს. (228) ჩავსვათ (235)-ში და შემოვიღოთ აღნიშვნა:

$$r^{2n}(0) = \frac{\sqrt{3}}{4} \cdot \frac{U_{mc}}{i_k^{2n}(0)}; \quad (236)$$

მაშინ მივიღებთ:

$$n = 1 + \frac{6}{\pi} \omega \tau_c \ln \left| \frac{1 + r^{2n}(0)(B_c - \sqrt{3}G_c)}{1 - 2r^{2n}(0) \cdot G_c} \right|; \quad (237)$$

(237)-ში გაითვალისწინება დამყარებული პროცესის დაწყებიდან დენების საწყისი მნიშვნელობების ტოლობა:

$$i_k^{2n}(0) = i_k^{2n-1}(0); \quad (238)$$

(237)-დან ჩანს, რომ :

$$\left. \begin{aligned} B_c &> \sqrt{3}G_c; \\ G_c &< \frac{1}{2r^{2n}(0)}; \end{aligned} \right\} \quad (239)$$

(239)-ში გავითვალისწინოთ (236), მივიღებთ:

$$G_c < \sqrt{\frac{2}{3} B_c \cdot \frac{i_k^{2n}(0)}{U_{mc}}} \quad (240)$$

(240)-ში თუ გავითვალისწინებთ (208),(209) და მივიღებთ, რომ

$ctg \varphi_c = \frac{R_c}{\omega L_c}$, მაშინ საბოლოოდ გვექნება:

$$i_k^{2n}(0) > \frac{3}{2} U_{mc} \cdot G_c ctg \varphi_c; \quad (241)$$

ამგვარად, დამყარებული პროცესი მყარდება იმ n -ის მნიშვნელობისას, რომლის დროსაც დაცულია (241) უტოლობა.

შემთხვევისათვის, როცა $i_k^{2n}(0) < \frac{3}{2} U_{mc} \cdot G_c ctg \varphi_c$; ჯერ კიდევ მიმდინარეობს გარდამავალი პროცესი.

3.5. ჰიბრიდულ ავტონომიური ელექტროენერგეტიკული

პარალელურ სისტემებში ელექტრომაგნიტური

გარდამავალი პროცესების კომპიუტერული მოდელირება.

ერთიანი ჰიბრიდული პარალელური ენერგოსისტემების (122)-(131) განტოლებები განზოგადებულ კენტ $2(n-1) \frac{\pi}{6\omega} \leq t_{2n-1} \leq (2n-1) \frac{\pi}{6\omega}$ ინტერვალებში მატრიცულ ფორმაში ასე ჩაიწერება:

$$\|\Delta^{2n-1}\| \cdot \left\| \frac{df(t_{2n-1})}{dt_{2n-1}} \right\| = \|f_1(t_{2n-1}, u_{mc}^{2n-1})\|, \quad (242)$$

სადაც (242)-ში თითოეული წევრებისათვის გახსნილ მდგომარეობაში გვაქვს:

$$\|\Delta^{2n-1}\| = \begin{vmatrix} 1 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & C_1 & C_2 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & C_2 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & C_3 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & L_1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & L_c \end{vmatrix}; \quad (243)$$

$$\left\| \frac{df(t_{2n-1})}{dt_{2n-1}} \right\| = \begin{vmatrix} \frac{dU_{dc}^{2n-1}}{dt_{2n-1}} \\ \frac{du_{c1}^{2n-1}}{dt_{2n-1}} \\ \frac{du_{c2}^{2n-1}}{dt_{2n-1}} \\ \frac{du_{dco}^{2n-1}}{dt_{2n-1}} \\ \frac{du_{c3}^{2n-1}}{dt_{2n-1}} \\ \frac{di_{L1}^{2n-1}}{dt_{2n-1}} \\ \frac{di_k^{2n-1}}{dt_{2n-1}} \end{vmatrix}; \quad k = A, B, C; \quad n = 1, 2, 3, \dots \quad (244)$$

$$\|f_1(t_{2n-1}, u_{mc}^{2n-1})\| = \begin{vmatrix} 0 \\ i^{2n-1} \\ i_{L1}^{2n-1} - i_{VD3}^{2n-1} \\ 0 \\ i_{L1}^{2n-1} - i_k^{2n-1} \\ u_{dco}^{2n-1} - u_{dc}^{2n-1} \\ U_{mc} \sin 60^\circ \cdot \sin(\omega t_{2n-1} + 60^\circ) - R_c i_k^{2n-1} \end{vmatrix}; \quad (245)$$

$k = A, B, C; \quad n = 1, 2, 3, \dots$

(242)-ის ამოხსნა $\left\| \frac{df(t_{2n-1})}{dt_{2n-1}} \right\|$ მიმართ გვაძლევს:

$$\left\| \frac{df(t_{2n-1})}{dt_{2n-1}} \right\| = \|(\Delta^{2n-1})^{-1}\| \cdot \|f_1'(t_{2n-1}, u_{mc}^{2n-1})\|; \quad (246)$$

სადაც (246)-ის თითოეული წევრებისათვის გახსნილ მდგომარეობაში გვაქვს:

$$\begin{aligned} \|(\Delta^{2n-1})^{-1}\| = & \\ = & \left\| \begin{array}{cccccccc} 1/c_1 & 1/c_1 & -1/c_1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1/c_1 & 1/c_1 & -1/c_1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -1/c_1 & 1/c_2 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1/c_1 & (1/c_1 + 1/c_2) & -(1/c_1 + 1/c_2) & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1/c_3 & -1/c_3 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1/L_1 & -1/L_1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -R/L_c & 0 & 0 & 0 & \frac{\sin 60^\circ}{LC_1} \end{array} \right\|; \quad (247) \end{aligned}$$

$$\left\| \frac{df(t_{2n-1})}{dt_{2n-1}} \right\| \text{ გამოსახულება (246)-ში წარმოდგენილია (124)}$$

გამოსახულებით:

$$\|f_1'(t_{2n-1}, u_{mc}^{2n-1})\| = \left\| \begin{array}{c} i^{2n-1} \\ i_{VD3}^{2n-1} \\ i_{L1}^{2n-1} \\ i_k^{2n-1} \\ u_{dco}^{2n-1} \\ u_{dc}^{2n-1} \\ U_{mc} \sin(\omega t_{2n-1} + 60^\circ) \end{array} \right\|; \quad (248)$$

$k = A, B, C; \quad n = 1, 2, 3, \dots$

ერთიანი ჰიბრიდული პარალელური ენერგოსისტემის ლუწი რეჟიმებისათვის დაწერილი (173)-(189) განტოლებები განზოგადებული

$$(2n - 1) \frac{\pi}{6\omega} \leq t_{2n} \leq 2n \frac{\pi}{6\omega}, \quad k = A, B, C; \quad n = 1, 2, 3, \dots \text{ ინტერვალებისათვის}$$

წარმოვადგინოთ მატრიცულ ფორმაში:

$$\|\Delta^{2n}\| \cdot \left\| \frac{df(t_{2n})}{dt_{2n}} \right\| = \|f_2(t_{2n}, u_{mc}^{2n})\|, \quad n = 1, 2, 3, \dots, \quad (249)$$

სადაც (249)-ში თითოეული წევრებისათვის გახსნილ მდგომარეობაში გვაქვს:

$$\|\Delta^{2n}\| = \begin{vmatrix} 1 & 0 & -1 & -1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & C_1 & C_2 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & C_2 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & -1 & -1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & C_3 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & L_1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & L_c \end{vmatrix}; n=1,2,3,\dots, \quad (250)$$

$$\left\| \frac{df(t_{2n})}{dt_{2n}} \right\| = \begin{vmatrix} \frac{dU_{dc}^{2n}}{dt_{2n}} \\ \frac{du_{c1}^{2n}}{dt_{2n}} \\ \frac{du_{c2}^{2n}}{dt_{2n}} \\ \frac{du_{dco}^{2n}}{dt_{2n}} \\ \frac{du_{c3}^{2n}}{dt_{2n}} \\ \frac{di_{L1}^{2n}}{dt_{2n}} \\ \frac{di_k^{2n}}{dt_{2n}} \end{vmatrix}; k = A, B, C; n = 1, 2, 3, \dots \quad (251)$$

$$\|f_2(t_{2n}, u_{mc}^{2n})\| = \begin{vmatrix} 0 \\ i^{2n} \\ i_{L1}^{2n} \\ 0 \\ i_{L1}^{2n} - i_k^{2n} \\ u_{dco}^{2n} - u_{dc}^{2n} \\ U_{mc} \sin 60^\circ \cdot \sin(\omega t_{2n} + 90^\circ) - R_c i_k^{2n} \end{vmatrix}; \quad (252)$$

$k = A, B, C; \quad n = 1, 2, 3, \dots$

(249)-ის ამოხსნა $\left\| \frac{df(t_{2n})}{dt_{2n}} \right\|$ -ის მიმართ გვაძლევს:

$$\left\| \frac{df(t_{2n})}{dt_{2n}} \right\| = \|(\Delta^{2n})^{-1}\| \cdot \|f_2'(t_{2n}, u_{mc}^{2n})\|; n = 1, 2, 3, \dots \quad (253)$$

სადაც (253)-ში თითოეული წევრებისათვის გახსნილ მდგომარეობაში გვაქვს[37,14]:

$$\|(\Delta^{2n})^{-1}\| = \left\| \begin{array}{cccccc} 1/c_1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1/c_1 & -1/c_1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1/c_1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1/c_1 & -1/c_2 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1/c_2 & -1/c_3 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1/L_1 & -1/L_1 & 0 \\ 0 & 0 & -R/L_c & 0 & 0 & \frac{\sin 60^\circ}{L_c} \end{array} \right\| ; \quad (254)$$

$$\|f_2'(t_{2n}, u_{mc}^{2n})\| = \left\| \begin{array}{c} i^{2n} \\ i_{L1}^{2n} \\ i_k^{2n} \\ u_{dco}^{2n} \\ u_{dc}^{2n} \\ U_{mc} \sin(\omega t_{2n} + 90^\circ) \end{array} \right\| ; \quad (255)$$

$k = A, B, C; \quad n = 1, 2, 3, \dots$

(246) გამოსახულებიდან ინტეგრალის ამოღება $2(n-1)\frac{\pi}{6\omega} \leq t_{2n-1} \leq (2n-1)\frac{\pi}{6\omega}$, დროის ინტერვალებისათვის გვაძლევს შემდეგ ინტეგრალურ გამოსახულებებს, საძიებელი ცვლადების მიმართ კონტი რეჟიმებისათვის:

$$\|f(t_{2n-1})\| = \int_{2(n-1)\frac{\pi}{6\omega}}^{(2n-1)\frac{\pi}{6\omega}} \{ \|(\Delta^{2n-1})^{-1}\| \cdot \|f_1'(t_{2n-1}, u_{mc}^{2n-1})\| \} dt_{2n-1} + \|f[t_{2n-1}(0)]\|; \quad n = 1, 2, 3, \dots \quad (256)$$

სადაც (256)-ში $\|f[t_{2n-1}(0)]\|$ არის $\|f(t_{2n-1})\|$ ცვლადების საწყისი მნიშვნელობები განსახილველ ინტერვალების დასაწყისში.

(253)გამოსახულებიდან ინტეგრალის ამოღება $(2n-1)\frac{\pi}{6\omega} \leq t_{2n} \leq 2n\frac{\pi}{6\omega}$, დროის ინტერვალებისათვის გვაძლევს შემდეგ ინტეგრალურ გამოსახულებებს საძიებელი ცვლადების მიმართ ლუწი რეჟიმებისათვის:

$$\|f(t_{2n})\| = \int_{(2n-1)\frac{\pi}{6\omega}}^{(2n)\frac{\pi}{6\omega}} \{ \|(\Delta^{2n})^{-1}\| \cdot \|f_2'(t_{2n}, u_{mc}^{2n})\| \} dt_{2n} +$$

$$+\|f[t_{2n}(0)]\|; n = 1,2,3,\dots, k = A, B, C; \quad (257)$$

სადაც (257)-ში $\|f[t_{2n}(0)]\|$ არის $\|f(t_{2n})\|$ ცვლადების საწყისი მნიშვნელობები განსახილველ ლუწი ინტერვალების დასაწყისში.

მზის ფოტოელექტრული სადგურის მოცემული პარამეტრების შემოყვანა გაერთიანებული ჰიბრიდული პარალელური ელექტროენერგეტიკულ სქემებში წარმოებს მზის ელემენტის ვოლტ-ამპერული მახასიათებლის აღმწერ (25) კვადრატული სამწევრის საფუძველზე [13,15]:

$$U_{dc}^* = A_1(i^*)^2 - (1 + A_1)i^* + 1, \quad (258)$$

სადაც A_1 კოეფიციენტი გამოითვლება ასე:

$$A_1 = \frac{U_{dc\text{ობტ}}^*}{i_{\text{ობტ}}^*(i_{\text{ობტ}}^* - 1)} + \frac{1}{i_{\text{ობტ}}^*} \quad (259)$$

U_{dc}^* და i^* ფარდობით ერთეულებში წარმოდგენილი სიდიდეებისათვის გვაქვს:

$$U_{dc}^* = \frac{U_{dc}^{2n-1}}{U_{dc\text{უბ}}^{2n-1}} \text{ კენტი ინტერვალებისათვის, ხოლო } U_{dc}^* = \frac{U_{dc}^{2n}}{U_{dc\text{უბ}}^{2n}} \text{ ლუწი ინტერ-}$$

ვალებისათვის. ასევე გვაქვს i^* დენის ფარდობითი მნიშვნელობისათვის:

$$i^* = \frac{R_S i^{2n-1}}{U_{dc\text{უბ}}^{2n-1}} \text{ კენტი ინტერვალებისათვის,}$$

$$i^* = \frac{R_S i^{2n}}{U_{dc\text{უბ}}^{2n}} \text{ ლუწი ინტერვალებისათვის.}$$

(258)-დან ამოვხსნათ i^* ფარდობითი მნიშვნელობა U_{dc}^* ძაბვის ფარდობითი მნიშვნელობის მიმართ და შესაბამისად მივიღებთ:

კენტი რეჟიმებისათვის:

$$i^{2n-1} = A_1' \pm \sqrt{A_2' + A_3' U_{dc}^{2n-1}}. \quad (260)$$

ლუწი რეჟიმებისათვის:

$$i^{2n} = A_1' \pm \sqrt{A_2' + A_3' U_{dc}^{2n}}, \quad (261)$$

სადაც:

$$\left. \begin{aligned} A'_1 &= \frac{1 + A_1}{A_1} \cdot \frac{U_{dc0,b}}{2R_s} \\ A'_2 &= R_s^2(1 + A_1)^2 - \frac{4R_s^2 A_1}{U_{dc0,b}} \\ A'_3 &= \frac{4R_s^2 A_1}{U_{dc0,b}} \end{aligned} \right\} \quad (262)$$

(262) გამოსახულებებში და U_{dc}^* , i^* ფარდობით სიდიდეებში ბაზისურ სიდიდეთ აღებულია $U_{dc0,b}$ ძაბვის მნიშვნელობა უკმი სვლისას.

განზოგადებული კენტ რეჟიმებში დამატებით ვსარგებლობთ შემდეგი დიფერენციალური განტოლებით:

$$i_{VD3}^{2n-1} = i_{L1}^{2n-1} - i^{2n-1} + C_1 \frac{du_{c1}^{2n-1}}{dt_{2n-1}}; \quad (263)$$

(256) და (257) გამოსახულებებში გავითვალისწინოთ შესაბამისად (244), (247), (248) და (251),(254),(255) გამოსახულებები, ვაწარმოთ (247) და (248) მატრიცების, აგრეთვე (254) და (255) მატრიცების ურთიერთ გადამრავლება, რის შედეგადაც მივიღებთ ცხად სახეში საძიებელი ელექტრული სიდიდეების შემდეგ ინტეგრალურ გამოსახულებებს:

$$ა) \quad \text{განზოგადებულ კენტ} \quad 2(n-1) \frac{\pi}{6\omega} \leq t_{2n-1} \leq (2n-1) \frac{\pi}{6\omega},$$

ინტერვალისათვის.

$$U_{dc}^{2n-1} = \int_{2(n-1) \frac{\pi}{6\omega}}^{(2n-1) \frac{\pi}{6\omega}} \left(\frac{1}{C_1} i^{2n-1} + \frac{1}{C_1} i_{VD3}^{2n-1} - \frac{1}{C_1} i_{L1}^{2n-1} \right) dt_{2n-1} + U_{dc}^{2n-1}(0); \quad (264)$$

$$u_{c1}^{2n-1} = \int_{2(n-1) \frac{\pi}{6\omega}}^{(2n-1) \frac{\pi}{6\omega}} \left(\frac{1}{C_1} i^{2n-1} + \frac{1}{C_1} i_{VD3}^{2n-1} - \frac{1}{C_1} i_{L1}^{2n-1} \right) dt_{2n-1} + u_{c1}^{2n-1}(0); \quad (265)$$

$$u_{c2}^{2n-1} = \int_{2(n-1) \frac{\pi}{6\omega}}^{(2n-1) \frac{\pi}{6\omega}} \left(\frac{1}{C_2} i^{2n-1} - \frac{1}{C_2} i_{VD3}^{2n-1} \right) dt_{2n-1} + u_{c2}^{2n-1}(0); \quad (266)$$

$$U_{dc0}^{2n-1} = \int_{2(n-1) \frac{\pi}{6\omega}}^{(2n-1) \frac{\pi}{6\omega}} \left[\frac{1}{C_1} i^{2n-1} + \left(\frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} \right) i_{VD3}^{2n-1} - \left(\frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} \right) i_{L1}^{2n-1} \right] dt_{2n-1} + U_{dc0}^{2n-1}(0) \quad (267)$$

$$u_{c3}^{2n-1} = \int_{2(n-1)\frac{\pi}{6\omega}}^{(2n-1)\frac{\pi}{6\omega}} \left(\frac{1}{C_3} i_{L1}^{2n-1} - \frac{1}{C_3} i_k^{2n-1} \right) dt_{2n-1} + u_{c3}^{2n-1}(0); \quad (268)$$

$$i_{L1}^{2n-1} = \int_{2(n-1)\frac{\pi}{6\omega}}^{(2n-1)\frac{\pi}{6\omega}} \left(\frac{1}{L_1} u_{dco}^{2n-1} - \frac{1}{L_1} u_{dc}^{2n-1} \right) dt_{2n-1} + i_{L1}^{2n-1}(0); \quad (269)$$

$$i_k^{2n-1} = \int_{2(n-1)\frac{\pi}{6\omega}}^{(2n-1)\frac{\pi}{6\omega}} \left[-\frac{R_c}{L_c} i_k^{2n-1} + \frac{1}{L_c} U_{mc} \sin 60^\circ \cdot \sin(\omega t_{2n-1} + 60^\circ) \right] dt_{2n-1} + i_k^{2n-1}(0). \quad k = A, B, C; \quad n = 1, 2, 3, \dots \quad (270)$$

ბ) განზოგადებულ ლუწ $(2n-1)\frac{\pi}{6\omega} \leq t_{2n} \leq 2n\frac{\pi}{6\omega}$,

ინტეგრალებისათვის:

$$U_{dc}^{2n} = \int_{(2n-1)\frac{\pi}{6\omega}}^{2n\frac{\pi}{6\omega}} \frac{1}{C_1} i^{2n} dt_{2n} + U_{dc}^{2n}(0); \quad (271)$$

$$u_{c1}^{2n} = \int_{(2n-1)\frac{\pi}{6\omega}}^{2n\frac{\pi}{6\omega}} \left(\frac{1}{C_1} i^{2n} - \frac{1}{C_1} i_{L1}^{2n} \right) dt_{2n} + u_{c1}^{2n}(0); \quad (272)$$

$$u_{c2}^{2n} = \int_{(2n-1)\frac{\pi}{6\omega}}^{2n\frac{\pi}{6\omega}} \frac{1}{C_2} i_{L1}^{2n} dt_{2n} + u_{c2}^{2n}(0); \quad (273)$$

$$u_{dco}^{2n} = \int_{(2n-1)\frac{\pi}{6\omega}}^{2n\frac{\pi}{6\omega}} \left(\frac{1}{C_1} i^{2n} - \frac{1}{C_2} i_{L1}^{2n} \right) dt_{2n} + u_{dco}^{2n}(0); \quad (274)$$

$$u_{c3}^{2n} = \int_{(2n-1)\frac{\pi}{6\omega}}^{2n\frac{\pi}{6\omega}} \left(\frac{1}{C_3} i_{L1}^{2n} - \frac{1}{C_3} i_k^{2n} \right) dt_{2n} + u_{c3}^{2n}(0); \quad (275)$$

$$u_{L1}^{2n} = \int_{(2n-1)\frac{\pi}{6\omega}}^{2n\frac{\pi}{6\omega}} \left(\frac{1}{L_1} u_{dco}^{2n} - \frac{1}{L_1} u_{dc}^{2n} \right) dt_{2n} + i_{L1}^{2n}(0); \quad (276)$$

$$i_k^{2n} = \int_{(2n-1)\frac{\pi}{6\omega}}^{2n\frac{\pi}{6\omega}} \left[\frac{1}{L_c} U_{mc} \sin 60^\circ \cdot \sin(\omega t_{2n} + 90^\circ) - \frac{R_c}{L_c} i_k^{2n} \right] dt_{2n} + i_k^{2n}(0); \quad (277)$$

(264)-(270) გამოსახულებებთან ერთად უნდა გავითვალისწინოთ (260) გამოსახულება, ხოლო (271)-(277) გამოსახულებებთან ერთად კი - (261) გამოსახულება.

მიღებული (260), (264)-(270) და (261), (271)-(274) ინტეგრალური გამოსახულებები საშუალებას იძლევიან აგებული იქნას ყველა საძიებელი ელექტრული სიდიდეების გარდამავალი პროცესების მოდელის სტრუქტურული სქემები, კენტი და ლუწი ინტერვალებისათვის, სქემებში შემავალი ელემენტების ძირითადი თვისებების გათვალისწინებით (ნახ.19).

განვიხილოთ ჰიბრიდული ავტონომიური ელექტროენერგეტიკული სისტემების პარალელური მუშაობისას გარდამავალი პროცესების მოდელის სტრუქტურული სქემის ელემენტების შემდეგი ძირითადი თვისებები (ნახ.19) [14,15].

ა) დროის გადამწოდი, $\Delta t_{2(n-1)} \frac{\pi}{6\omega}, \Delta t_{2n} \frac{\pi}{6\omega}$, -გარდამავალი პროცესის რიცხვითი მეთოდით ანგარიშისას დროის ინტერვალების შესაბამისად კენტ და ლუწ განზოგადებული ინტერვალებში:

$\Delta t_{2(n-1)} \frac{\pi}{6\omega}$	T_{2n-1}
$t_{(2n-1)} \frac{\pi}{6\omega}$	

→

$$2(n-1) \frac{\pi}{6\omega} \leq t_{2n-1} \leq (2n-1) \quad (278)$$

$n = 1, 2, 3, \dots$

ბ) t_{2n-1} ცვლადის ω მუდმივ კოეფიციენტზე ნამრავლი:

$$\begin{array}{c}
 \xrightarrow{t_{2n-1}} \boxed{\omega} \boxed{G} \xrightarrow{\omega t_{2n-1}} \\
 n = 1, 2, 3, \dots
 \end{array} \quad (279)$$

გ) მუდმივის (60°) წარმოდგენა, შემავალი ცვლადი არ არის:

$$\boxed{60^\circ} \boxed{k} \longrightarrow 60^\circ \quad (280)$$

დ) შემკრები 1,1-მუდმივი კოეფიციენტებია $\omega t_{2n-1}, 60^0$ -შემავალი ცვლადებია:

$$\begin{array}{c} \omega t_{2n-1} \\ \longrightarrow \\ 60^0 \\ \longrightarrow \end{array} \left[\begin{array}{c|c} 1 & \\ \hline 1 & \Sigma \end{array} \right] \longrightarrow \begin{array}{c} 1 \cdot \omega t_{2n-1} + 1 \cdot 60^0 \\ n = 1, 2, 3, \dots, \end{array} \quad (281)$$

ე) სინუსოიდური ფუნქციის მაფორმირებელი, 1-მუდმივი კოეფიციენტია $\omega t_{2n-1} + 60^0$ -შემავალი ცვლადია:

$$\begin{array}{c} \omega t_{2n-1} + 60^0 \\ \longrightarrow \end{array} \left[\begin{array}{c|c} 1 & \sin \\ \hline 1 & \end{array} \right] \longrightarrow \begin{array}{c} \sin 1 \cdot (\omega t_{2n-1} + 60^0) \\ n = 1, 2, 3, \dots, \end{array} \quad (282)$$

ვ) გამამრავლებელი 1,1, მუდმივი კოეფიციენტებია $\sin(\omega t_{2n-1} + 60^0), \frac{1}{L_c} U_{mc} \sin 60^0$ - შემავალი ცვლადებია:

$$\begin{array}{c} \sin(\omega t_{2n-1} + 60^0) \\ \frac{1}{L_c} U_{mc} \sin 60^0 \\ \longrightarrow \end{array} \left[\begin{array}{c|c} 1 & \\ \hline 1 & X \end{array} \right] \longrightarrow \begin{array}{c} \frac{1}{L_c} U_{mc} \sin 60^0 \cdot \sin(\omega t_{2n-1} + 60^0) \\ n = 1, 2, 3, \dots, \end{array} \quad (283)$$

ზ) გაყოფის ელემენტი- k_1, k_2 -მუდმივი კოეფიციენტებია ; x_1 და x_2 -შემავალი ცვლადებია:

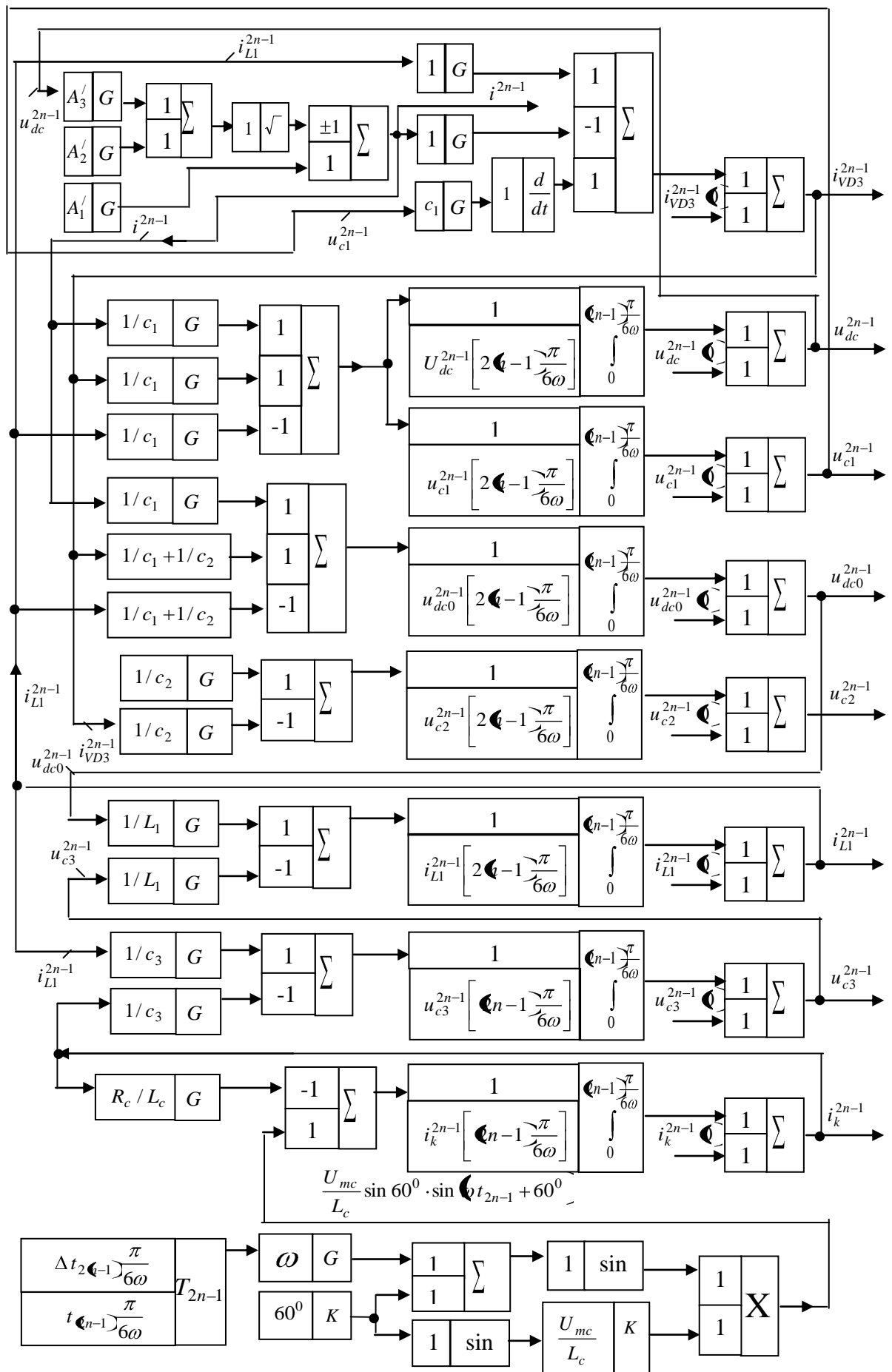
$$\begin{array}{c} X_1 \\ \longrightarrow \\ X_2 \\ \longrightarrow \end{array} \left[\begin{array}{c|c} K_1 & \\ \hline K_2 & \div \end{array} \right] \longrightarrow y = \frac{K_1 X_1}{K_2 X_2} \quad (284)$$

თ) ინტეგრატორი- x -შემავალი ცვლადია, k - მუდმივი კოეფიციენტი და Y_0 - X ფუნქციის საწყისი მნიშვნელობა:

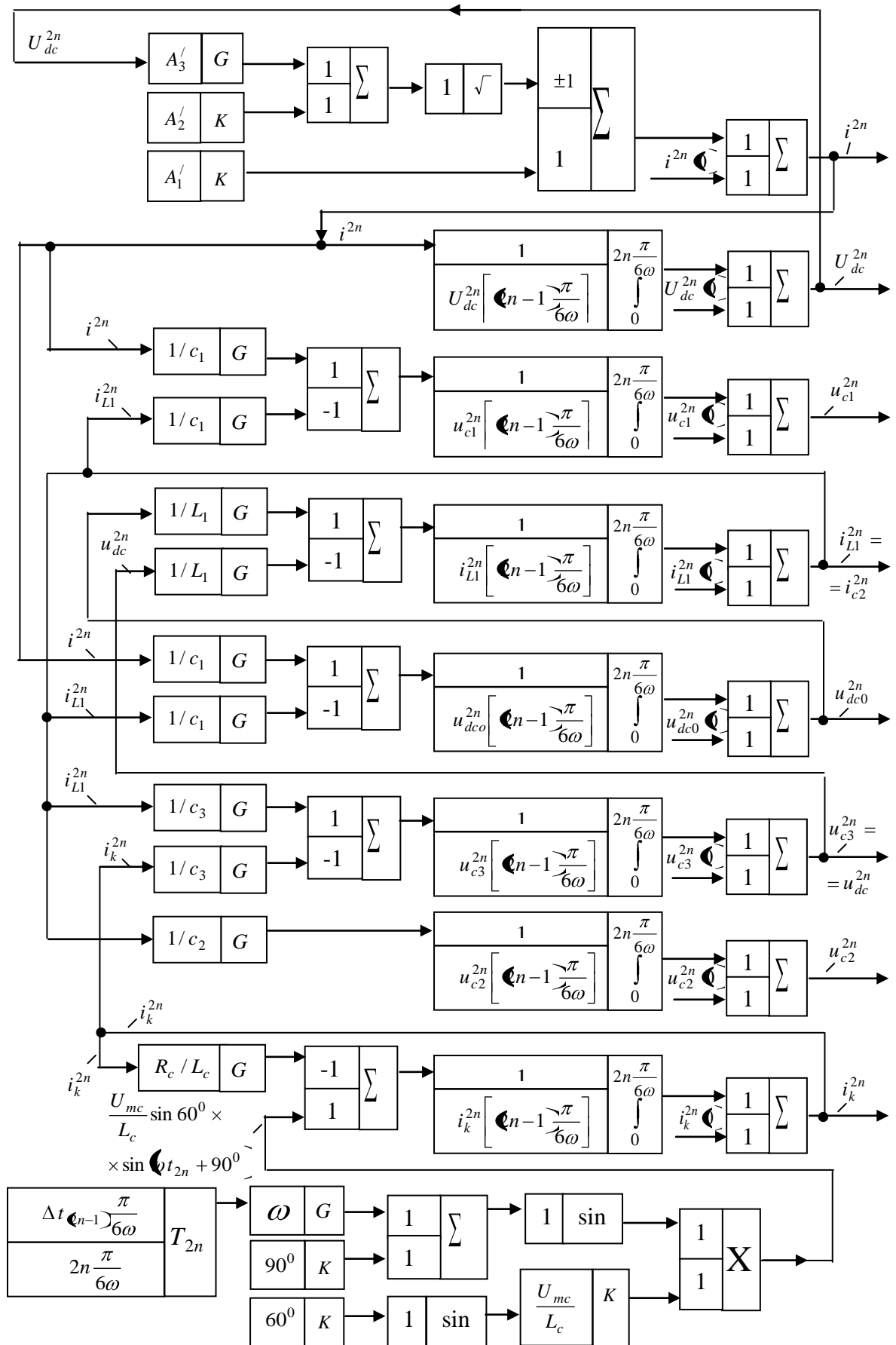
$$\begin{array}{c} X \\ \longrightarrow \end{array} \left[\begin{array}{c|c} K & \\ \hline y_0 & \int \end{array} \right] \longrightarrow y = K \int_0^{t_{2n-1}} X dt + y_0 \quad (285)$$

$$n = 1, 2, 3, \dots$$

ნახ.19 სტრუქტურული სქემის ელემენტების ძირითადი თვისებები.



ნახ.20. გარდამავალი პროცესების გამარტივებული მოდელის სრულყოფილი სტრუქტურული სქემა კენტი რეჟიმების განზოგადებულ $2\epsilon - 1 \frac{\pi}{6\omega} \leq t_{2n-1} \leq (2n-1) \frac{\pi}{6\omega}$; $n=1,2,3,\dots, k=A, B, C$. ინტერვალში



ნახ.21. გარდამავალი პროცესების კომპიუტერული მოდელის სრულყოფილი სტრუქტურული სქემა ლუწი რეჟიმების განზოგადებულ $\epsilon^{n-1} \frac{\pi}{6\omega} \leq t_{2n} \leq 2n \frac{\pi}{6\omega}$; $n=1,2,3,\dots$, $k=A, B, C$. ინტერვალებში.

3.6. ჰიბრიდულ ავტონომიური ელექტროენერგეტიკული
დინამიური სისტემების ცვლადთა მდგომარეობის
მატრიცული განტოლებების რიცხვითი ამოხსნა დროის არეში.

ა) პარალელური მუშაობის კენტი რეჟიმების
განზოგადებული

$$2(n-1) \frac{\pi}{6\omega} \leq t_{2n-1} \leq (2n-1) \frac{\pi}{6\omega} \text{ ინტერვალებისათვის}$$

(244) მატრიცული გამოსახულებიდან გვაქვს შემდეგი მატრიცული გამოსახულება:

$$\|f(t_{2n-1})\| = \|U_{dc}^{2n-1}, u_{c1}^{2n-1}, u_{c2}^{2n-1}, u_{dc0}^{2n-1}, u_{c3}^{2n-1}, i_{L1}^{2n-1}, i_k^{2n-1}\|^t,$$

$$n = 1, 2, 3, \dots, \quad (286)$$

სადაც (286)-ში ზემო ინდექსი t ნიშნავს ტრანსპონირებულ მატრიცას.

(246)-ში შემოვიღოთ აღნიშვნები:

$$\|A^{2n-1}\| = \|(\Delta^{2n-1})^{-1}\|; \quad \|I^{2n-1}\| = \|f'_1(t_{2n-1}, u_{mc}^{2n-1})\|;$$

$$n = 1, 2, 3, \dots, \quad (287)$$

(287)-ის გათვალისწინებით (246) გამოსახულება წარმოიდგინება ასეთ ფორმაში:

$$\left\| \frac{df(t_{2n-1})}{dt_{2n-1}} \right\| = \|A^{2n-1}\| \cdot \|I^{2n-1}\|; \quad (288)$$

(288) განტოლება წარმოადგენს მდგომარეობათა ცვლადების განტოლებას მატრიცულ ფორმაში.

„მდგომარეობათა ცვლადების მეთოდის“ უპირატესობა სხვა მეთოდებთან შედარებით არის მისი შეთავსებადობა „ციფრული გამოთვლითი ტექნიკის მეთოდებთან“. [22].

ამ პარაგრაფში ნაჩვენებია იქნება ორიგინალური რიცხვითი მეთოდი (288) მატრიცული განტოლების ამოსახსნელად, დროის არეში მისი განსაკუთრებულობის გათვალისწინებით.

(288) განტოლებაში მოცემულად ითვლება მზის ელემენტის შენაცვლების სქემაში ნაჩვენები I დენი, ელემენტის გამოსავალზე U_{dc}^{2n-1} ძაბვა და სამფაზა ცვლადი დენის ქსელის ფაზური ძაბვები $u_k^{2n-1} (k = A, B, C; n = 1, 2, 3, \dots)$. ამ სამივე ცვლადებს ვუწოდებთ „შემავალ ვექტორებს“ $t_{2n-1} \geq 2(n-1) \frac{\pi}{6\omega}$, დროის შუალედისათვის. ყოველი განზოგადებული კენტ ინტერვალებში $\|f(t_{2n-1})\|$ საძიებელი ელექტრული სიდიდეების საწყისი მნიშვნელობები იქნება $t_{2n-1} = 2(n-1) \frac{\pi}{6\omega}$, დროში ამავე სიდიდეების მნიშვნელობები. ე.ი. შესაბამისად ვღებულობთ:

$$\|f(t_{2n-1})\|_{t_{2n-1}=2(n-1)\frac{\pi}{6\omega}} = \left\| f \left[2(n-1) \frac{\pi}{6\omega} \right] \right\| \quad (289)$$

რამდენადაც $\|f(t_{2n-1})\|$ საძიებელი სიდიდეების ამოხსნა განხორციელდება „ციფრული გამოთვლითი ტექნიკის მეთოდით,“ იმდენად $\|f(t_{2n-1})\|$ სიდიდე უნდა განისაზღვროს t დროის მხოლოდ დისკრეტული $t = 2(n-1) \frac{\pi}{6\omega}, 2(n-1) \frac{\pi}{6\omega} + T, 2(n-1) \frac{\pi}{6\omega} + 2T, \dots$, მნიშვნელობებისას, სადაც T - არის კენტ რეჟიმებში რაიმე დროის ინტერვალი.

(288) განტოლების ზოგად ამოხსნას ვეძებთ ასეთ სახეში:

$$\|f(t_{2n-1})\| = e^{\|A^{2n-1}\| \cdot t_{2n-1}} \cdot \|k(t_{2n-1})\|, \quad (290)$$

სადაც $\|k(t_{2n-1})\|$ -ნებისმიერი ვექტორის მატრიცაა $n \times 1$ განზომილებიანი მუდმივი ელემენტებით.

(288) განტოლების ამონახსნს ვეძებთ იმის გათვალისწინებით, რომ $\|k(t_{2n-1})\|$ წარმოადგენს t_{2n-1} დროის ფუნქციას.

(290) ტოლობა ჩავსვათ (288) განტოლებაში და ვისარგებლოთ $e^{\|A^{2n-1}\| \cdot t_{2n-1}}$ ექსპონენციალური მატრიცის შემდეგი თვისებებით:

$$\frac{d}{dt} e^{\|A^{2n-1}\| \cdot t_{2n-1}} = \|A^{2n-1}\| \cdot e^{\|A^{2n-1}\| \cdot t_{2n-1}} = e^{\|A^{2n-1}\| \cdot t_{2n-1}} \|A^{2n-1}\|; \quad (291)$$

შედეგად მივიღებთ:

$$\frac{d\|k(t_{2n-1})\|}{dt_{2n-1}} = e^{-\|A^{2n-1}\| \cdot t_{2n-1}} \cdot \|A^{2n-1}\| \cdot [\|I^{2n-1}\| - \|f(t_{2n-1})\|]; \quad (292)$$

გავაინტეგრავთ (292) განტოლებას $2(n-1)\frac{\pi}{6\omega}$ -დან $(2n-1)\frac{\pi}{6\omega}$ -მდე დროის ინტერვალში, მივიღებთ:

$$\begin{aligned} & \int_{2(n-1)\frac{\pi}{6\omega}}^{(2n-1)\frac{\pi}{6\omega}} \left(\frac{d\|k(\tau_{2n-1})\|}{d\tau_{2n-1}} \right) d\tau_{2n-1} = \\ & = \int_{2(n-1)\frac{\pi}{6\omega}}^{(2n-1)\frac{\pi}{6\omega}} \{ e^{-\|A^{2n-1}\| \cdot \tau_{2n-1}} \cdot \|A^{2n-1}\| \cdot [\|I^{2n-1}\| - \|f(\tau_{2n-1})\|] \} d\tau_{2n-1}. \end{aligned} \quad (293)$$

(293)-ში ინტეგრების ზედა ზღვარი ასე წარმოვადგინოთ:

$$t_{2n-1} = (2n-1)\frac{\pi}{6\omega} \quad (294)$$

(293)-დან ამოვიღოთ ინტეგრალი და გავითვალისწინოთ (294), ზოგიერთი გარდაქმნების შემდეგ მივიღებთ:

$$\begin{aligned} & \|k(t_{2n-1})\| = \\ & = \int_{2(n-1)\frac{\pi}{6\omega}}^{t_{2n-1}} \{ e^{-\|A^{2n-1}\| \cdot \tau_{2n-1}} \cdot \|A^{2n-1}\| \cdot [\|I^{2n-1}(\tau_{2n-1})\| - \|f(\tau_{2n-1})\|] \} d\tau_{2n-1} + \\ & \quad + \left\| k \left[2(n-1)\frac{\pi}{6\omega} \right] \right\|. \end{aligned} \quad (295)$$

(295) და (290) განტოლებებიდან გვაქვს:

$$\begin{aligned} & \|f(\tau_{2n-1})\| = e^{\|A^{2n-1}\| \cdot \tau_{2n-1}} \times \\ & \times \left[\int_{2(n-1)\frac{\pi}{6\omega}}^{t_{2n-1}} \{ e^{-\|A^{2n-1}\| \cdot \tau_{2n-1}} \cdot \|A^{2n-1}\| \cdot [\|I^{2n-1}(\tau_{2n-1})\| - \|f(\tau_{2n-1})\|] \} d\tau_{2n-1} + \right. \\ & \left. + \left\| k \left[2(n-1)\frac{\pi}{6\omega} \right] \right\| \right]; \quad n = 1, 2, 3, \dots, \end{aligned} \quad (296)$$

(290)-დან $t_{2n-1} = 2(n-1)\frac{\pi}{6\omega}$ მომენტისათვის $\|f(t_{2n-1})\|$ სიდიდის მნიშვნელობა ტოლია:

$$\left\| f \left[2(n-1)\frac{\pi}{6\omega} \right] \right\| = e^{\|A^{2n-1}\| \cdot 2(n-1)\frac{\pi}{6\omega}} \cdot \left\| k \left[2(n-1)\frac{\pi}{6\omega} \right] \right\| \quad (297)$$

(297)-დან გვაქვს:

$$\left\| k \left[2(n-1)\frac{\pi}{6\omega} \right] \right\| = e^{-\|A^{2n-1}\| \cdot 2(n-1)\frac{\pi}{6\omega}} \cdot \left\| f \left[2(n-1)\frac{\pi}{6\omega} \right] \right\| \quad (298)$$

შესაბამისად (288) განტოლების ამონახსნს აქვს სახე:

$$\|f(t_{2n-1})\| = e^{\|A^{2n-1}\| \cdot t_{2n-1}} \times$$

$$\begin{aligned} & \times \int_{\frac{2(n-1)\pi}{6\omega}}^{\tau_{2n-1}} e^{-\|A^{2n-1}\| \cdot \tau_{2n-1}} \cdot \|A^{2n-1}\| \cdot [\|I^{2n-1}(\tau_{2n-1})\| - \|f(\tau_{2n-1})\|] d\tau_{2n-1} + \\ & + e^{-\|A^{2n-1}\| \cdot [\tau_{2n-1} - 2(n-1)\frac{\pi}{6\omega}]} \cdot \|f[2(n-1)\frac{\pi}{6\omega}]\|. \end{aligned} \quad (299)$$

ამგვარად, მივიღეთ მოცემული განტოლების ზუსტი ამონახსნი განზოგადებული კენტი რეჟიმების ინტერვალებისათვის შესაბამისი საწყისი პირობების გათვალისწინებით [40,22].

მიუხედავად (299) გამოსახულების კარგი სიზუსტისა, მას აქვს მოუხერხებელი ფორმა „ციფრული გამოთვლითი ტექნიკის მეთოდებში“ გამოსაყენებლად [48].

თუ გამოვიყენებთ კომპიუტერულ პროგრამებს, ჩვენ შეიძლება გამოვთვალოთ $\|f(t_{2n-1})\|$ სიდიდე t_{2n-1} დროის მხოლოდ დისკრეტული მნიშვნელობისათვის: $t_{2n-1} = kT$, სადაც k - მთელი ნატურალური რიცხვებია, ხოლო T -განსაზღვრული გარემოებით შერჩეული დროის ინტერვალი. რამდენადაც ვუშვებთ, რომ „შემავალი ვექტორი“ ცნობილია ყველა k - რიცხვისათვის, მაშინ ჩვენ გვრჩება გამოვიცნოთ ერთის მხრივ $\|f[(k+1)T]\|$ სიდიდისა და მეორეს მხრივ $\|f(kT)\|$ და $[\|I^{2n-1}(kT)\| - \|f(kT)\|]$ სიდიდეებს შორის კავშირი.

ასეთი კავშირი აღიწერება „სხვაობითი განტოლების“ კერძო სახით. როგორც კი მივიღებთ „სხვაობითი განტოლებას“ მომენტალურად შეიძლება თანმიმდევრობით გამოვთვალოთ $\|I^{2n-1}(kT)\|$ სიდიდე ყველა k რიცხვისათვის [37,22].

(299) განტოლებაში დავუშვათ რომ:

$$2(n-1)\frac{\pi}{6\omega} = kT \text{ და } t_{2n-1} = (k+1)T; \quad n = 1,2,3, \dots; \quad k=0,1,2,3, \dots, \quad (300)$$

მაშინ მივიღებთ:

$$\begin{aligned} & \|f[(k+1)T]\| = e^{\|A^{2n-1}\| \cdot T} \cdot \|f(kT)\| + e^{\|A^{2n-1}\| \cdot (k+1)T} \times \\ & \times \int_{kT}^{(k+1)T} \{e^{-\|A^{2n-1}\| \cdot \tau_{2n-1}} \cdot \|A^{2n-1}\| \cdot [\|I^{2n-1}(\tau_{2n-1})\| - \|f(\tau_{2n-1})\|]\} d\tau_{2n-1}; \\ & n = 1,2,3, \dots; \quad k = 0,1,2,3, \dots, \end{aligned} \quad (301)$$

(292)-ში $\|I^{2n-1}\| - \|f(t_{2n-1})\|$ სიდიდეში „შემავალი ვექტორები“ თითოეული $kT \leq t < (k+1)T$ დროის ინტერვალებში წარმოადგენენ უბან-უბან მუდმივ სიდიდეებს.

შემოვიღოთ აღნიშვნა:

$$\|u(kT)\| = \|I^{2n-1}(\tau_{2n-1})\| - \|f(\tau_{2n-1})\| = \|I^{2n-1}(kT)\| - \|f(kT)\|;$$

$$n = 1, 2, 3, \dots; \quad k = 0, 1, 2, 3, \dots, \quad (302)$$

(302) გამოსახულების გათვალისწინება (301)-ში მოგვცემს შემდეგ გამოსახულებას:

$$\|f[(k+1)T]\| = e^{\|A^{2n-1}\| \cdot T} \cdot \|f(kT)\| + e^{\|A^{2n-1}\| \cdot (k+1)T} \times$$

$$\times \int_{kT}^{(k+1)T} e^{-\|A^{2n-1}\| \cdot \tau_{2n-1}} \cdot \|A^{2n-1}\| d\tau_{2n-1} \|u(kT)\|;$$

$$n = 1, 2, 3, \dots; \quad k = 0, 1, 2, 3, \dots, \quad (303)$$

(303)-ში გამოვიყენოთ $e^{\|A\|t}$ ფუნქციის ერთ-ერთი თვისება:

$$\int_0^t e^{\|A\|\tau} d\tau = \|A\|^{-1} (e^{\|A\|t} - 1) = (e^{\|A\|t} - 1) \|A\|^{-1} \quad (304)$$

მაშინ (303) სხვაობითი განტოლება წარმოდგება ასეთ სახეში:

$$\|f[(k+1)T]\| = e^{\|A^{2n-1}\| \cdot T} \cdot \|f(kT)\| + (e^{\|A^{2n-1}\| \cdot T} - \|1\|) \|u(kT)\|;$$

$$n = 1, 2, 3, \dots; \quad k = 0, 1, 2, 3, \dots, \quad (305)$$

მიღებული (305) განტოლება წარმოადგენს საძიებელ სხვაობითი განტოლებას. იგი წარმოდგენილია რეკურენტული ფორმულის სახით და იოლად ემორჩილება კომპიუტერული პროგრამების საშუალებით რიცხვითი მეთოდებით გაანგარიშებას.

ბ)პარალელური მუშაობის ლუწი რეჟიმების

განზოგადებული

$$(2n - 1) \frac{\pi}{6\omega} \leq t_{2n} \leq 2n \frac{\pi}{6\omega} \text{ ინტერვალებისათვის}$$

(251) გამოსახულებიდან გვაქვს $f(t_{2n})$ -ისათვის შემდეგი მატრიცული გამოსახულება:

$$\|f(t_{2n})\| = \|U_{dc}^{2n}, u_{c1}^{2n}, u_{c2}^{2n}, u_{dc0}^{2n}, u_{c3}^{2n}, i_{L1}^{2n}, i_k^{2n}\|^t,$$

$$n = 1, 2, 3, \dots, \quad k = A, B, C. \quad (306)$$

სადაც, როგორც (286) გამოსახულებაში, აქაც t - ზემოთ ინდექსი ნიშნავს ტრანსპონირებულ მატრიცას.

(253)-ში შემოვიღოთ აღნიშვნები:

$$\|A^{2n}\| = \|(\Delta^{2n})^{-1}\|; \|I^{2n}\| = \|f_2'(t_{2n}, u_{mc}^{2n})\|$$

$$n = 1, 2, 3, \dots, \quad k = A, B, C. \quad (307)$$

(307)-ის გათვალისწინებით (253) გამოსახულება გადაიწერება ასეთნაირად:

$$\left\| \frac{df(t_{2n})}{dt_{2n}} \right\| = \|A^{2n}\| \cdot \|I^{2n-1}\|, n = 1, 2, 3, \dots, \quad (308)$$

(308) განტოლება წარმოადგენს მდგომარეობათა ცვლადების განტოლებას განზოგადებული $(2n - 1) \frac{\pi}{6\omega} \leq t_{2n} \leq 2n \frac{\pi}{6\omega}$ ინტერვალებისათვის მატრიცულ ფორმაში.

ყოველი განზოგადებული ლუწი ინტერვალებში $\|f(t_{2n})\|$ ელექტრული სამიხეობელი სიდიდეების საწყისი მნიშვნელობები იქნება $t_{2n} = (2n - 1) \frac{\pi}{6\omega}$ დროში ამავე სიდიდეების მნიშვნელობები. ე.ი. შესაბამისად ვღებულობთ:

$$\|f(t_{2n})\|_{t_{2n}=(2n-1)\frac{\pi}{6\omega}} = \left\| f \left[(2n - 1) \frac{\pi}{6\omega} \right] \right\|, \quad n = 1, 2, 3, \dots \quad (309)$$

(308) განტოლების ზოგად ამონახსნს ვეძებთ ასეთ სახეში:

$$\|f(t_{2n})\| = e^{\|A^{2n}\| \cdot t_{2n}} \cdot \|k(t_{2n})\|, \quad n = 1, 2, 3, \dots \quad (310)$$

სადაც $\|k(t_{2n})\|$ - ნებისმიერი ვექტორის მატრიცაა $n \times 1$ განზომილებიანი მუდმივი ელემენტებით.

ამჟამადაც, თუ ვისარგებლებთ ამავე პარაგრაფის ა) პუნქტში განხილული გაანგარიშების მეთოდით, მაშინ ზოგიერთი გარდაქმნების შემდეგ ლუწი რეჟიმების განზოგადოებულ $(2n - 1) \frac{\pi}{6\omega} \leq t_{2n} \leq 2n \frac{\pi}{6\omega}; n = 1, 2, 3 \dots$ ინტერვალების შესაბამისი (308) განტოლების ამონახსნისათვის გვაქვს შემდეგი გამოსახულება[49]:

$$\begin{aligned} \|f(t_{2n})\| &= e^{\|A^{2n}\| \cdot [t_{2n} - (2n-1)\frac{\pi}{6\omega}]} \cdot \|f[(2n-1)\frac{\pi}{6\omega}]\| + e^{\|A^{2n}\| \cdot t_{2n}} \times \\ &\times \int_{(2n-1)\frac{\pi}{6\omega}}^{2n\frac{\pi}{6\omega}} e^{-\|A^{2n}\| \cdot \tau_{2n}} \cdot \|A^{2n}\| \cdot [\|I^{2n}(\tau_{2n})\| - \|f(\tau_{2n})\|] d\tau_{2n}; \\ &n = 1, 2, 3, \dots; \end{aligned} \quad (311)$$

ამგვარად, მივიღეთ ზუსტი ამონახსნი განზოგადებული ლუწი რეჟიმების ინტერვალებისათვის შესაბამისი საწყისი პირობების გათვალისწინებით.

$$\begin{aligned} (311) \text{ განტოლებაში დავუშვათ } (2n - 1) \frac{\pi}{6\omega} = kT \text{ და } t_{2n} = (k + 1)T; \\ n = 1, 2, 3, \dots; \quad k = 0, 1, 2, 3, \dots, \end{aligned} \quad (312)$$

მაშინ მვიღებთ:

$$\begin{aligned} \|f[(k + 1)T]\| &= e^{\|A^{2n}\| \cdot T} \cdot \|f(kT)\| + e^{\|A^{2n}\| \cdot (k+1)T} \times \\ &\times \int_{kT}^{(k+1)T} \{e^{-\|A^{2n}\| \cdot \tau_{2n}} \cdot \|A^{2n}\| \cdot [\|I^{2n}(\tau_{2n})\| - \|f(\tau_{2n})\|]\} d\tau_{2n} \\ &n = 1, 2, 3, \dots; \quad k = 0, 1, 2, 3, \dots, \end{aligned} \quad (313)$$

(313)-ში შემოვიღოთ აღნიშვნა:

$$\begin{aligned} \|u'(kT)\| &= \|I^{2n}(\tau_{2n})\| - \|f(\tau_{2n})\| = \|I^{2n}(kT)\| - \|f(kT)\|; \\ &n = 1, 2, 3, \dots \quad k = 0, 1, 2, 3, \dots, \end{aligned} \quad (314)$$

(314)-ის გათვალისწინება (313)-ში მოგვცემს შემდეგ გამოსახულებას:

$$\begin{aligned} \|f[(k + 1)T]\| &= e^{\|A^{2n}\| \cdot T} \cdot \|f(kT)\| + e^{\|A^{2n}\| \cdot (k+1)T} \times \\ &\times \int_{kT}^{(k+1)T} e^{-\|A^{2n}\| \cdot \tau_{2n}} \cdot \|A^{2n}\| d\tau_{2n} \cdot \|u'(kT)\|; \\ &n = 1, 2, 3, \dots; \quad k = 0, 1, 2, 3, \dots, \end{aligned} \quad (315)$$

(315)-ში გამოვიყენოთ (304) და გარდაქმნების შედეგად მივიღებთ:

$$\|f[(k+1)T]\| = e^{\|A^{2n}\| \cdot T} \cdot \|f(kT)\| + (e^{\|A^{2n}\| \cdot T} - \|1\|) \cdot \|u'(kT)\|;$$

$$n = 1, 2, 3, \dots; \quad k = 0, 1, 2, 3, \dots, \quad (316)$$

მიღებული (316) განტოლება წარმოადგენს საძიებელ სხვაობითი განტოლებას. იგი შეთავსებადია კომპიუტერული ტექნოლოგიების გაანგარიშების რიცხვით მეთოდებთან.

3.7. ჰიბრიდულ ავტონომიური ელექტროენერგეტიკული

პარალელური სისტემების მუშაობის რეჟიმების

ოპტიმიზაცია და მდგრადობის გამოკვლევა

სისტემის მუშაობის რეჟიმების ოპტიმიზაციისა და მდგრადობის შესწავლის მიზნით საჭიროა განისაზღვროს დენის მიხედვით გადაცემის ფუნქცია:

$$W_i(p) = \frac{I_k(p)}{I(p)}, \quad k = A, B, C. \quad (317)$$

(317)-ში $I_k(p)$ და $I(p)$ შესაბამისად არის სამფაზა ცვლადი დენის ქსელის ფაზური დენების $i_k = (k = A, B, C.)$ და მზის ფოტოელექტრული სადგურის გამოსავალზე i დენის ლაპლასის მიხედვით ოპერატორული გამოსახულებები ნულოვანი საწყისი პირობების $i_k(0) = 0, k = A, B, C; i(0) = 0$, გათვალისწინებით.

(122)-(131) და (173)-(179) განტოლებების საფუძველზე განსაზღვრული იქნა $I_k(p)$ და $I(p)$ -ს ოპერატორული გამოსახულებები. ამ გამოსახულებების ჩასმა (317) გამოსახულებაში გვამღევს $W_i(p)$ -ს საბოლოო გამოსახულებას:

$$W_i(p) = \frac{a_1 p + a_0}{b_2 p^2 + b_1 p + b_0}; \quad (318)$$

სადაც (318)-ში შემავალი კოეფიციენტებისათვის გვაქვს შემდეგი გამოსახულებები, სამართლიანი კენტ ($k = 1$) და ლუწ ($k = 2$) რეჟიმებისათვის:

$$a_1 = U_{mc} \cdot \sin \frac{\pi}{3} \cdot \sin \left(\frac{2k-1}{k} \right) \frac{\pi}{3}; (k = 1; 2);$$

$$a_0 = \omega U_{mc} \cdot \sin \frac{\pi}{3} \cdot \cos \left(\frac{2k-1}{k} \right) \frac{\pi}{3}; \quad (319)$$

$$b_2 = C_2 \frac{L_1}{L_c} U_{mc} \cdot \sin \frac{\pi}{3} \sqrt{R_c^2 + \omega^2 L_c^2 \left[\frac{2L_c}{L_1} (1 - \omega^2 L_1 C_3) - 1 \right]^2} \times$$

$$\times \sin \left[\left(\frac{2k-1}{k} \right) \frac{\pi}{3} + \operatorname{arctg} \frac{\omega L_c [2L_c (1 - \omega^2 L_1 C_3) - L_1]}{L_1 R_c} \right]; (k = 1, 2); \quad (320)$$

$$b_1 = \omega C_2 U_{mc} \cdot \sin \frac{\pi}{3} \left\{ \omega L_1 \cdot \sin \left(\frac{2k-1}{k} \right) \frac{\pi}{3} + 2(1 - \omega^2 L_1 C_3) \sqrt{R_c^2 + (\omega L_1)^2} \times \right.$$

$$\left. \times \cos \left[\left(\frac{2k-1}{k} \right) - \operatorname{arctg} \frac{\omega L_c}{R_c} \right] \right\}; (k = 1, 2); \quad (321)$$

$$b_0 = \omega^2 R_c C_2 U_{mc} \sin \frac{\pi}{3} \left[\frac{L_1}{L_c} + 2(1 - \omega^2 L_1 C_3) \right] \sin \left(\frac{2k-1}{k} \right) \frac{\pi}{3}, \quad (k = 1, 2) \quad (322)$$

შემოვიღოთ აღნიშვნები:

$$A_0 = \frac{a_0}{a_1}; \quad B_1 = \frac{b_1}{b_2}; \quad B_0 = \frac{b_0}{b_2}; \quad \omega_0 = \frac{a_1}{b_2}; \quad (323)$$

(323)-ის გათვალისწინება (318)-ში გვაძლევს შემდეგ გამოსახულებას:

$$W_i(p) = \frac{p + A_0}{p^2 + B_1 p + B_0} \cdot \omega_0; \quad (324)$$

(324)-დან ჩანს, რომ გამოსაკვლევ სისტემას აქვს მახასიათებელი პოლინომი:

$$F(p) = p^2 + B_1 p + B_0; \quad (325)$$

გურვიცის მიხედვით ამ პოლინომის კოეფიციენტებისაგან შეიძლება შედგეს ასეთი განმსაზღვრელი (დეტერმინანტი);

$$\Delta_0 = \begin{vmatrix} B_1 & 0 \\ 1 & B_0 \end{vmatrix}; \quad (326)$$

აუცილებელია ვიპოვოთ ყველა მინორის მნიშვნელობები, დაწყებული ზემო მარცხენა კვანძიდან და დამთავრებული განმსაზღვრელის მნიშვნელობამდე. თუ ყველა ამ მინორებს აქვთ ერთნაირი ნიშანი, მაშინ სისტემა მდგრადია - პოლინომის ყველა ფესვი განთავსებულია მარცხენა ნახევარ სიბრტყეში. კერძოდ, თუ პირველი სტრიქონის პირველი ელემენტი დადებითია, მაშინ დადებითი უნდა იყვნენ დანარჩენი მინორნიც.

ვიპოვოთ (226) განმსაზღვრელის ყველა ეს მინორი:

$$M_1 = B_1 > 0;$$

$$M_2 = \begin{vmatrix} B_1 & 0 \\ 1 & B_0 \end{vmatrix} = B_1 B_0 > 0 \quad (327)$$

(327)-დან გამომდინარეობს, რომ:

$B_1 > 0$; $B_0 > 0$ ანუ თუ გავითვალისწინებთ (323) გამოსახულებებს, მივიღებთ:

$$\frac{b_1}{b_2} > 0; \quad \frac{b_0}{b_2} > 0 \quad (328)$$

(320)-(322) გამოსახულებებიდან ნათლად ჩანს, რომ $b_2 > 0$; $b_1 > 0$ და $b_0 > 0$ და შესაბამისად დაცული იქნება (328) პირობა. ამის გამო გურვიცის მიხედვით სისტემა მდგრადია.

რაუსის კრიტერიუმის შესაბამისად აქ გურვიცის განმსაზღვრელი (დეტერმინანტი) არ იწერება, მას ცვლის შემდეგი წესით შედგენილი ცხრილი:

ვთქვათ მოცემულია მახასიათებელი პოლინომი (325). რაუსის მიხედვით შედგენილ ცხრილს აქვს სახე;

$$\begin{array}{c|cc} p^2 & 1 & B_0 \\ p^1 & B_1 & 0 \\ p^0 & -B_1 B_0 & 0 \end{array} \quad \text{ან} \quad \begin{array}{c|cc} p^2 & 1 & B_0 \\ p^1 & 1 & 0 \\ p^0 & 1 & 0 \end{array} \quad (329)$$

(329)-ში გადავწეროთ ცხრილი ნულების გარეშე, მივიღებთ:

$$\begin{array}{c|c} p^2 & 1 \\ p^1 & 1 \\ p^0 & 1 \end{array} \quad (330)$$

(329)-ში პირველი სტრიქონი შედგება (325)-ის კოეფიციენტებიდან ჩაწერილი ერთის გამოტოვებით, დაწყებული p^2 კოეფიციენტიდან, ხოლო მეორე სტრიქონი კი -დარჩენილი კოეფიციენტებიდან. ამ დროს მეორე შეკვეცილია B_1 -ზე. მესამე სტრიქონის ელემენტი მოიძებნება ფორმულით:

$$\frac{1 \cdot 0 - B_1 B_0}{1} = -B_1 B_0; \quad \frac{1 \cdot 0 - B_1 \cdot 0}{1} = 0;$$

მეორე სტრიქონის პირველი ელემენტი და მეორე ელემენტი იყოფა B_1 -ზე და მივიღებთ ელემენტ 1-ს. ასევე მესამე სტრიქონის პირველი ელემენტი და მეორე ელემენტი იყოფა $(-B_1 B_0)$ -ზე, აქაც მივიღებთ

ელემენტს 1-ს. ამის შედეგად საბოლოოდ ვღებულობთ (330) ცხრილს, სადაც ნიშანი „მინუსი“ არ გვაქვს. შესაბამისად (325) პოლინომს არ გააჩნია ფესვები დადებითი ნამდვილი ნაწილით. ყოველივე ეს იმის მაჩვენებელია, რომ მოცემული სისტემა მდგრადია.

ჰიბრიდული ავტონომიური ელექტროენერგეტიკული პარალელური სისტემის მუშაობის განზოგადებული კენტი და ლუწი რეჟიმების ამპლიტუდურ-ფაზურ-სიხშირული მახასიათებლების აღმწერი გამოსახულების მისაღებად (319)-(323) ჩავსვათ (324)-ში, გავითვალისწინოთ $p = j\omega$ და ზოგიერთი გარდაქმნების შედეგად მივიღებთ:

ა) ამპლიტუდურ-სიხშირული მახასიათებლისათვის:

$$W_i(\omega) = \frac{1}{\omega^2 L_1 C_2} \cdot \operatorname{tg} \left(\frac{2k-1}{k} \right) \frac{\pi}{3} ;$$

$$= \frac{1}{\sqrt{\left\{ \frac{\omega'_0}{\omega} \sin \left(\frac{2k-1}{k} \right) \frac{\pi}{3} - \sin \left[\left(\frac{2k-1}{k} \right) \frac{\pi}{3} - \operatorname{arctg} \frac{\omega}{\omega'_0} \right] \right\}^2 + \sin^2 \left(\frac{2k-1}{k} \right) \frac{\pi}{3}}};$$

$$k = 1, 2; \quad (331)$$

ბ) ფაზურ-სიხშირული მახასიათებლისათვის:

$$\varphi_i(\omega) = \left(\frac{2k-1}{k} \right) \frac{\pi}{3} - \operatorname{arctg} \left[\frac{\sqrt{\left(\frac{\omega}{\omega'_0} \right)^2 + 1}}{\frac{\omega'_0}{\omega} \sqrt{\left(\frac{\omega}{\omega'_0} \right)^2 + 1} + \frac{\omega}{\omega'_0} \operatorname{ctg} \left(\frac{2k-1}{k} \right) \frac{\pi}{3} - 1} \right];$$

$$k = 1, 2; \quad (332)$$

$$(331), (332) \text{ გამოსახულებაში } \omega'_0 = \frac{R_c}{L_c}; \quad (333)$$

$k = 1$ -ის ჩასმა გვაძლევს კენტი რეჟიმების გამოსახულებებს, ხოლო $k = 2$ -ის ჩასმა კი ლუწი რეჟიმების გამოსახულებებს.

შესაბამისად კენტი რეჟიმებისათვის გვაქვს:

$$W_i(\omega) = \frac{\sqrt{3}}{\omega^2 L_1 C_2 \sqrt{\frac{3}{4} + \left[\frac{\sqrt{3}}{2} \cdot \frac{\omega'_0}{\omega} - \sin \left(60^\circ - \operatorname{arctg} \frac{\omega}{\omega'_0} \right) \right]^2}}; \quad (334)$$

$$\varphi_i(\omega) = \frac{\pi}{3} - \operatorname{arctg} \left[\frac{\sqrt{\left(\frac{\omega}{\omega_0'}\right)^2 + 1}}{\frac{\omega_0'}{\omega} \sqrt{\left(\frac{\omega}{\omega_0'}\right)^2 + 1} + \frac{\omega}{\omega_0'} \cdot \frac{\sqrt{3}}{2} - 1} \right]; \quad (335)$$

ლუწი რეჟიმებისათვის გვაქვს:

$$W_i(\omega) = \frac{\frac{1}{\omega^2 L_1 C_2} \cdot \operatorname{tg} \frac{\pi}{2}}{\sqrt{\left[1 + \frac{\omega_0'}{\omega} - \frac{1}{\sqrt{1 + \left(\frac{\omega}{\omega_0'}\right)^2}} \right]^2}} = \infty; \quad (336)$$

$$\varphi_i(\omega) = \frac{\pi}{2} - \operatorname{arctg} \left[\frac{1}{\frac{\omega_0'}{\omega} - \frac{1}{\sqrt{1 + \left(\frac{\omega}{\omega_0'}\right)^2}}} \right]; \quad (337)$$

(334),(335) და (337) გამოსახულებებში ჩატარებული ანგარიშის შედეგები გაერთიანებული სისტემის სიხშირული გადაცემის ფუნქციის ამპლიტუდის მოდულისა $W_i(\omega)_{2n-1}$ და არგუმენტების $\varphi_i(\omega)_{2n-1}$, $\varphi_i(\omega)_{2n}$ ω სიხშირეზე დამოკიდებულებების მიმართ ნაჩვენებია ცხრილი 2-ში. ამ შემთხვევაში გათვალისწინებულია სისტემის პარამეტრების შემდეგი რიცხვითი მნიშვნელობები:

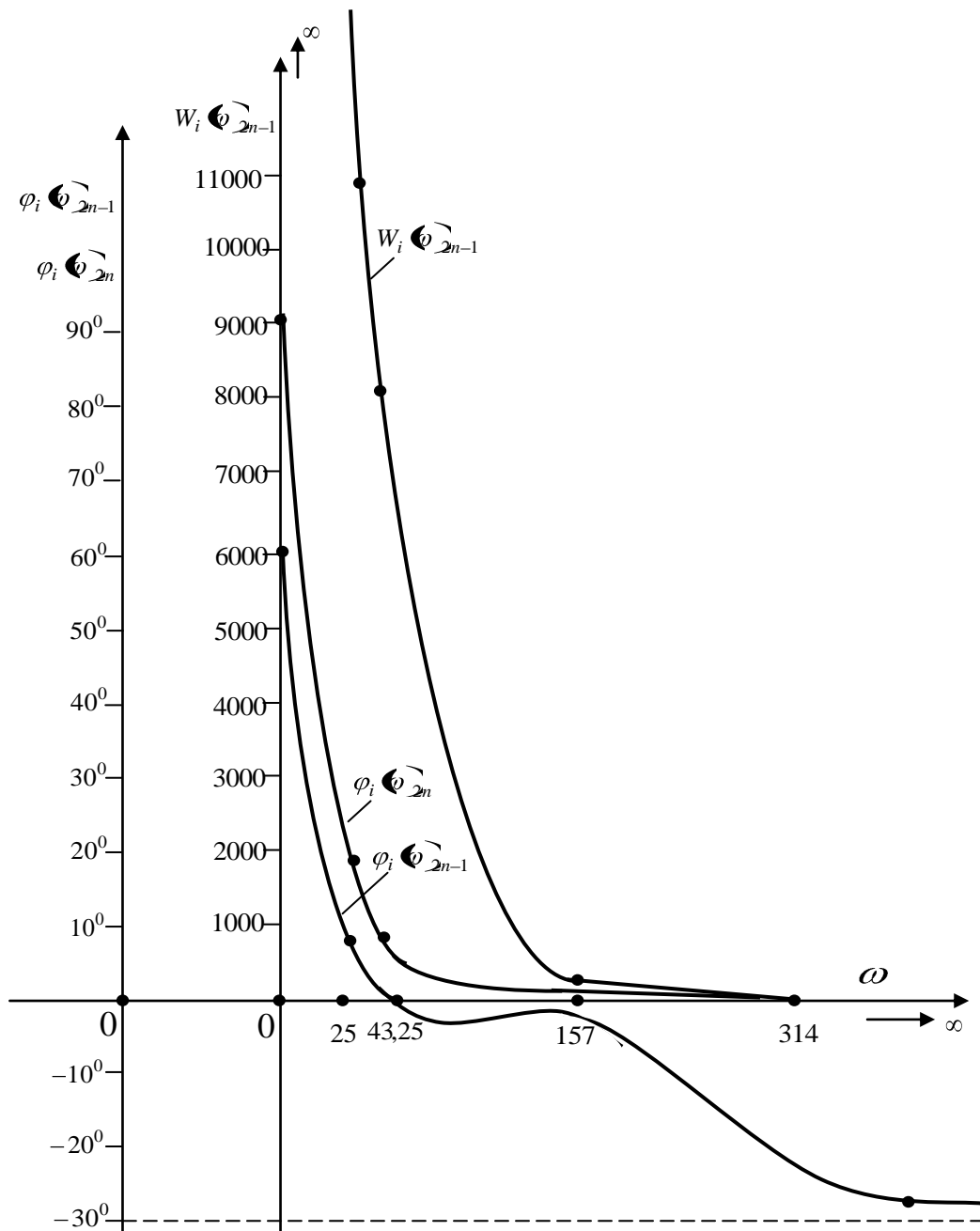
$$R_c = 2,5 \text{ ომი}; L_c = 0,1 \text{ ჰნ}; L_1 = 0,05 \text{ ჰნ}; C_2 = 10^{-4} \text{ ფ}; \quad (338)$$

ცხრილი 2-ის საფუძველზე აგებულ ამპლიტუდურ-ფაზურ-სიხშირული მახასიათებლებს კენტი და ლუწი რეჟიმების შემთხვევაში აქვს ნახ.22-ზე ნაჩვენები სახე.

როგორც ცხრილი 2-ის საფუძველზე აგებული ნახ.22-ზე ნაჩვენები სიხშირული მახასიათებლიდან ჩანს, ამპლიტუდურ-სიხშირული მახასიათებელი კენტი რეჟიმებისათვის $\omega = 0$ -დან $\omega = 157$ -მდე, მკვეთრად

ცხრილი 2.

$\omega, 1/\text{წმ}$	0	$\omega'_0 = 25$	$\sqrt{3}\omega'_0 = 43,25$	57	14	∞
$W_i(\omega)_{2n-1}$	∞	10328	8009	14,04	0,35	0
$\varphi_i(\omega)_{2n-1}, \text{ გრადუსი}$	60°	6°	0°	$-0^\circ 12'$	-27°	-30°
$\varphi_i(\omega)_{2n}, \text{ გრადუსი}$	90°	17°	$4^\circ 30'$	0°	0°	0°



ნახ.22 ჰიბრიდული ავტონომიური ელექტროენერგეტიკული პარალელური სისტემის გადაცემის ფუნქციის ამპლიტუდურ-ფაზურ-სიხშირული მახასიათებლები, შესაბამისად $2n-1$ კენტი და $2n$ ლუწი ინტერვალისათვის.

განიცდის ვარდნას $W_i(\omega)_{2n-1} = \infty$ -დან $W_i(\omega)_{2n-1} = 14,04$ -მდე; $\omega = 157$ -დან $\omega = 314$ -მდე იგი მონოტონურად იცვლება $W_i(\omega)_{2n-1} = 14,04$ -დან $W_i(\omega)_{2n-1} = 0,35$ -მდე; $\omega = 314$ -დან $\omega = \infty$ -მდე კი იგი არა მკვეთრად იცვლება და ინარჩუნებს $W_i(\omega) = 0,35$ -დან $W_i(\omega) = 0$ -მდე მნიშვნელობებს.

ფაზური - სიხშირული მახასიათებელი $\omega = 0$ -დან $\omega = 43,25$ 1/წმ-მდე მკვეთრად ვარდება $\varphi_i(\omega) = 60^\circ$ -დან $\varphi_i(\omega) = 0^\circ$ -მდე; $\omega = 43,25$ 1/წმ-დან $\omega = 157$ 1/წმ-მდე იგი სტაბილურია, უარყოფითია და ნულთან ახლოსაა, $\omega = 157$ 1/წმ-დან $\omega = \infty$ - მდე იგი ინარჩუნებს უარყოფით მნიშვნელობას და მკვეთრად იზრდება -30° -მდე[50].

3. დასკვნა

1. პირველად, ქარის ენერჯის მექანოტრონული, მზის ენერჯის ფოტოელექტრული გარდაქმნების და აკუმულატორული ბატარეების პარალელური დამუხტვა-განმუხტვის პროცესების ერთდროულად გამოყენების პირობებში შესრულდა მიზანმიმართული სამუშაოები მათი კლასიფიკაციის, სისტემატიზაციისათვის და გარდაქმნა-გამოყენების ტექნოლოგიების დანერგვაში ჰიბრიდული ელექტროენერჯეტიკის სისტემის საიმედო, მდგრადი ავტონომიური ელექტრომომარაგების უზრუნველყოფის მიზნით.

2. განსაზღვრულია ენერგორესურსების მარაგი, დამუშავებულია არატრადიციული და განახლებადი ენერჯის წყაროებიდან ელექტრული ენერჯის მიღებისა და გამოყენების ტექნოლოგიების სტრატეგიული მიზნები და განახლებადი ენერჯეტიკის განვითარების როლი საქართველოს მიუვალ და მთა გორიან რეგიონებში ავტონომიური ელექტრო-ენერჯეტიკული სისტემის შექმნაში. წარმოდგენილია მზის ენერჯის ელექტრულ ენერჯიად გარდაქმნის პროცესების ფიზიკური საფუძვლები. აგებულია ფოტოელექტრული ელემენტის განათებისას $P - n$ -გადასასვლელის ზონური ენერჯეტიკული დიაგრამები მოკლე შერთვის, უქმი სვლის და დატვირთვის ნომინალურ რეჟიმებში.

3. წარმოდგენილია მზის ფოტოელექტრული ელემენტის შენაცვლების ელექტრული სქემა, რომელშიც გათვალისწინებულია ყველა საანგარიშო პარამეტრები. უქმი სვლისა და მოკლე შერთვის პარამეტრების გამოყენებით შედგენილია განტოლებათა სისტემა ფოტოელემენტის $P - n$ -გადასასვლელზე გამავალი ფოტოდენისა და გაჯერების უკუდენის მიმართ. ამოხსნის შედეგად ვლებულობთ ელემენტის უქმი სვლისა და მოკლე შერთვის პარამეტრებზე დამოკიდებულ ექვივალენტურ კოეფიციენტებს. ტეილორის მწკრივებად დაშლის შედეგად ვლებულობთ მზის ელემენტის სიმძლავრის რაციონალურ გამოსახულებას მრავალწევრის სახით, რომლის დენის მიხედვით გაწარმოების ნულთან გატოლების პირობიდან

გამომდინარე ვლენულობთ ძაბვისა და გამომავალი დენის ოპტიმალურ მნიშვნელობებს. ამგვარად ვლენულობთ მზის ელემენტის უქმი სვლის, ოპტიმალური და მოკლე შერთვის რეჟიმების დამახასიათებელი სამი წერტილის აბცისათა ღერძე დენის, ხოლო ორდინატთა ღერძზე ძაბვის კოორდინატებს ფარდობით ერთეულებში. ლანგრაჟის ინტერპოლაციის ფორმულის საფუძველზე აგებული იქნა მზის ელემენტის ვოლტ-ამპერული მახასიათებლის გამოსახულება კვადრატული სამწევრის სახეში, რომლის კოეფიციენტები გამოსახულია ძაბვისა და დენის ოპტიმალურ მნიშვნელობების მიხედვით.

4. დამუშავებულია ქარის ენერჯის მიღებისა და გამოყენების ტექნოლოგიები. შესწავლილია ტყვია-მჭავიანი აკუმულატორული ბატარეის დამუხტვისა და განმუხტვის პროცესები ჰიბრიდული ელექტროენერგეტიკულ ავტონომიურ სისტემასთან პარალელური მუშაობის პირობებში. განსაზღვრულია ბატარეის ე.მ.ძ-ისა და შიგა წინაღობის მნიშვნელობები დამუხტვა-განმუხტვის პროცესში დენისა და ძაბვის მნიშვნელობების მიხედვით. დამუშავებულია იმპულსური გარდაქმნელისა და მოდულაციური წრედის შემცველი ჰიბრიდული პარალელური ელექტროენერგეტიკული ავტონომიური სისტემის განზოგადებული სტრუქტურული და პრინციპული ელექტრული საანგარიშო სქემები.

5. ჩატარებულია არატრადიციული და განახლებადი ენერჯის წყაროებიან მუდმივი და ერთფაზა ცვლადი დენის ავტონომიურ ჰიბრიდულ ელექტროსისტემაში ელექტრომაგნიტური გარდამავალი პროცესების მათემატიკური და კომპიუტერული მოდელირება განზოგადებულ კენტ და ლუწ მუშაობის რეჟიმებში. აგებულია ერთფაზა ძალოვანი ტრანსფორმატორის განზოგადებული ვექტორული დიაგრამა.

6. ჩატარებული კომპიუტერული მოდელირების საფუძველზე აგებულია ერთიან გარდაქმნელ ავტონომიურ სისტემაში ცვლადი ელექტრული სიდიდეების გარდამავალი პროცესების მოდელის

სტრუქტურული სქემები, რომლებიც შეთავსებადია რიცხვითი გაანგარიშების კომპიუტერულ პროგრამებთან. ჩატარებულია ავტონომიური ჰიბრიდული ენერგოსისტემების პარალელური მუშაობის რეჟიმების მართვა იმპულსური გარდამქნელისა და მოდულაციური წრედების საშუალებით.

7. შექმნილია მზის ფოტოელექტრული სადგურისა, აკუმულატორული ბატარეისა და სამფაზა ცვლადი დენის ქსელის ერთობლივი პარალელური მუშაობის ერთიანი სისტემა. ჩატარებულია ერთიანი სისტემის მუშაობის დინამიური პროცესების მოდელირება, რეჟიმების მართვა და ოპტიმიზაცია. დადგენილია მუშაობის თორმეტი რეჟიმი და თითოეული რეჟიმებისათვის ჩატარებულია მათემატიკური და კომპიუტერული მოდელირება.

8. დამუშავებული იქნა წარმოდგენილი დინამიური სისტემების ცვლადთა მდგომარეობათა მატრიცული განტოლებების დროის არეში რიცხვითი ამოხსნის მეთოდიკა კენტი და ლუწი განზოგადებული ინტერვალებში, რის საფუძველზე მიღებული იქნა საძიებელი სიდიდეების მიმართ სხვაობითი განტოლება მატრიცულ ფორმაში. მიღებული სხვაობითი განტოლება წარმოდგენილია რეკურენტულ ფორმაში შესაბამისი საწყისი პირობების გათვალისწინებით. ვინაიდან მიღებული საანგარიშო განზოგადებული გამოსახულებები აღმოჩნდა შეთავსებადი „ციფრული გამოთვლითი კომპიუტერული ტექნიკის“ მეთოდებთან, ამიტომ „მდგომარეობათა ცვლადების მეთოდის“ უპირატესობა სხვა საანგარიშო მეთოდებთან მნიშვნელოვნად დიდია.

9. ჩატარებულ იქნა სისტემის მუშაობის რეჟიმების ოპტიმიზაცია და დადგენილი იქნა მდგრადობის კრიტერიუმები, რის საფუძველზე მიღებული იქნა განზოგადებული კენტი და ლუწი რეჟიმებისათვის ამპლიტუდურ ფაზურ-სიხშირული მახასიათებლები და ამით დადგინდა, რომ წარმოდგენილი ჰიბრიდული ავტონომიური პარალელური ელექტროენერგეტიკული სამფაზა სისტემა მუშაობის ყველა რეჟიმში მდგრადია.

გამოყენებული ლიტერატურა

1. კობრეიძე გ., ლაოშვილი დ., სამარღანიშვილი დ. განახლებადი ენერჯის წყაროებიანი მუდმივი და ცვლადი დენის პარალელური ენერგოსისტემის გამოყენების პერსპექტიული მიმართულებები. „მეცნიერება და ტექნოლოგიები“. თბილისი, 2002წ. 87-90გვ.
2. Андреев В.М., Грилехес В.А., Румянцев В.Д. Фотоэлектрическое преобразование концентрированного солнечного излучения. Л. „Наука“, Ленинградское отделение. 1989 г. 309 с.
3. კობრეიძე გ., ლაოშვილი დ., სამარღანიშვილი დ. განახლებადი ენერჯის წყაროებიანი მუდმივი და ცვლადი დენის ავტონომიური ჰიბრიდული ენერგოსისტემების პარალელური მუშაობა მუდმივი დენის იმპულსური გარდამსახების საშუალებით. სტუ-ს შრომები N7(446). თბილისი, 2002წ. 31-35გვ.
4. Ахмедов Р.Б., Баум И.В., Пожарнов В.А., Чаховский В.М., Серия Гелиоэнергетика Том.1. Солнечные электрические станции. М. 1986г. 121с.
5. Фаренбрux А., Бьюб Р., Солнечные элементы. Теория и эксперимент. Перевод с английского. М. Энергоатомиздат. 1987г. 278 с.
6. Раушенбах Г. Справочник по проектированию солнечных батарей. Перевод на русский язык. Энергоатомиздат. 1983г. 358 с.
7. Баиерс Т. 20 Конструкций с солнечными элементами. М. „Мир“, 1988г. 198с.
8. Кохреидзе Г.К., Метревели В.Ш., Лаошвили Д.П., Самарганишвили Д.А. К вопросу устойчивости режимов в гибридной энергосистеме с нетрадиционными источниками энергии. Труды ХПИ, Выпуск 12. Том 1. Харьков 2002 г. 264-266 с.
9. კობრეიძე გ., ფხაკაძე შ. განახლებადი ენერჯის წყაროებიან ავტონომიურ ენერგოსისტემაში ელექტრომაგნიტური გარდამავალი პროცესების მათემატიკური მოდელირება „ენერჯია“ N3(55). თბილისი, 2010წ. 37-43გვ.
10. Кохреидзе Г.К., Лаошвили Д.П. Пхакадзе Ш.А. Управление системой при совместной работе солнечных фотоэлектрических станций и сети переменного тока. НТУ „ХПИ“, Украина, Харьков. 2011г. N03(79). 371-374с.
11. კობრეიძე გ., ფხაკაძე შ. განახლებადი ენერჯის წყაროებიან ავტონომიურ ენერგოსისტემაში დინამიური პროცესების კომპიუტერული მოდელირება „ენერჯია“ N3(55). თბილისი, 2010წ. 44-50გვ.
12. კობრეიძე გ., ფხაკაძე შ., გოგინაშვილი ნ., ჯავშანაშვილი ნ. მზის ფოტოელექტრული სადგურისა და სამფაზა ცვლადი დენის ქსელის ერთობლივი მუშაობა. „ენერჯია“ N3(59) თბილისი, 2011წ. 20-28გვ.
13. ფხაკაძე შ. განახლებადი ენერჯის წყაროებიან ჰიბრიდული პარალელური ენერგოსისტემის ერთობლივი მუშაობის რეჟიმების ოპტიმიზაცია. N1 თემატურ სემინარზე წარმოდგენილი სამეცნიერო ნაშრომი (ხელნაწერის უფლებით). თბილისი, 2012წ. 1-40 გვ.

14. ფხაკაძე შ. მზის ფოტოელექტრული სადგურისა და სამფაზა ცვლადი დენის ქსელის ერთობლივი მუშაობა. N79 -ე სტუდენტური საერთაშორისო ღია სამეცნიერო კონფერენციაზე წარდგენილი სამეცნიერო ნაშრომი (ხელნაწერის უფლებით).თბილისი,2011წ. 1-12 გვ.

15. ფხაკაძე შ. ენერჯის არატრადიციული და განახლებადი წყაროების გარდაქმნისა და გამოყენების ტექნოლოგიები ელექტროენერგეტიკაში. სტუდენტთა N80-ე ღია საერთაშორისო სამეცნიერო ტექნიკური კონფერენცია. თბილისი, 2012წ. 1-20 გვ.

16. Плесков Ю.В. Фотоэлектрохимическое преобразование солнечной энергии. М., „Химия”, 1990г. 175 с.

17. Рензо Д. де: Пер. с. Англ.: Под редакцией Я.И. Шефтера. Ветроэнергетика. М. Энергоатомиздат. 1982г. 272 с.

18. Каргиев В.М., Мартиросов С.Н., Муругов В.П., Пинов А.Б., Сокольский А.К., Харатонов В.П. Ветроэнергетика. Руководство по применению ветроустановок малой и средней мощности. М. „Интерсоларцентр”, 2001г. 61 с.

19. Елистратов В.В., Константинов И.А., Панфилов А.А. Нагрузка на элементы Ветроэнергетической установки на ее фундамент и основание. Учебное пособие СП, изд-во СПбГТУ, 1999г. 36 с.

20. Кохреидзе Г., Лаошвили Д., Курашвили И., Пхакадзе Ш. Режимы пуска и тяги двигателя постоянного тока с учетом трехфазного мостового выпрямительно-инверторного преобразователя тяговой подстанции. Труды НТУ „ХПИ”, Харьков. 2010г. 328-331 с.

21. კობრეიძე გ., გოგინაშვილი ნ., ყურაშვილი ი., ფხაკაძე შ., მეგენეიშვილი თ. წევის ქვესადგურების ერთიან გარდამქნელ სისტემაში ელექტრომაგნიტური გარდამავალი პროცესების მათემატიკური და კომპიუტერული მოდელირება „ ენერჯია,” N2 (62) 2012წ. თბილისი, 5-16 გვ.

22. Кохреидзе Г., Лаошвили Д., Мурджикнели Г., Курашвили И., Пхакадзе Ш. Управление и оптимизация режимов параллельной работы гибридной автономной электроэнергетической системы и сети переменного тока. „Кременчук”, Украина ,2012г. 220-224с.

23. ფხაკაძე შ. წევის ქვესადგურის ერთიან გარდამქნელ სისტემაში ელექტრომაგნიტური გარდამავალი პროცესების მათემატიკური და კომპიუტერული მოდელირება (ხელნაწერის უფლებით). N2 თემატურ სემინარზე წარმოდგენილი სამეცნიერო ნაშრომი. თბილისი. სტუ. 2013წ. 1-20 გვ.

24. Чаки Ф., Герман И., Ипшиц И и др. Силовая электроника. Примеры и расчеты.М. энергоиздат 1982 г. 383с.

25. Джюджи Л., Пелл Б. Силовые полупроводниковые преобразователи частоты. Теория, Характеристики, применение.М. энергоиздат 1983 г. 399с.

26.Тонкаль В.Е., Руденко В.С., Жуйков В.Я., Сучик В.Е., Денисюк С.П., Новосельцов А.В. Ответственный редактор Шидловский А.К. Вентильные преобразователи переменной структуры. Киев. Наукова Думка, 1990г. 335с.

27. Иванов В.А., Чемоданов Б.К., Медведев В.С., Ющенко. Математические основы теории автоматического регулирования. Изд-во „Высшая школа”, М. 1971г. 807с.
28. Зевеке Г.В., Ионкии П.А., Нетушил А.В., Страхов С.В. Основы теории цепей. „Энергия”, М. 1975г. 751с.
29. Мерабишвили П.Ф. Теория переходных процессов в цепях с вентильными преобразователями. Изд-во Тбилисского университета. Тбилиси. 1990г. 292с.
30. Ионкин П.А., Мельников Н.А., Даревский А.И., Кухаркин Е.С. Теоретические основы электротехники ч.1 Изд-во „Высшая школа”, М. 1965г. 734с.
31. Бессонов Л.А. Теоретические основы электротехники. В трех частях. Изд-во „Высшая школа”, М. 1962г. 791с.
32. Тонкаль В.Е. Синтез автономных инверторов модуляционного типа. Киев. „Науково Думка”. 1979г. 206с.
33. Матханов П.Н. Основы анализа электрических цепей-Линейные цепи. М. „Высшая школа”, М. 1981г. 333с.
34. Матханов П.Н. Основы анализа электрических цепей. Нелинейные цепи. М. „Высшая школа”, М. 1986г. 352с.
35. Шидловский А.К., Кузнецов В.Г., Николаенко В.Г. Оптимизация несимметричных режимов систем электроснабжения. Киев, Наукого Думка, 1987г. 174с.
36. Чуа Л.О., Пен-Мин Лин. Машинный анализ электронных схем (алгоритмы и вычислительные методы). Перевод с английского. Москва. „энергия”, М. 1980г. 638с.
37. კობრეიძე გ., გოგინაშვილი ნ., ყურაშვილი ი., ფხაკაძე შ., მეგენეიშვილი თ. წევის ქვესადგურების ერთიან გარდამქნელ სისტემაში მატარებლის რეკუპერაციული დამუხრუჭების რეჟიმებში პროცესების მათემატიკური და კომპიუტერული მოდელირება „ ენერგია,” N2 (62) 2012წ. თბილისი, 17-29 გვ.
38. Мерабишвили П.Ф., Кохреидзе Г.К. Электромагнитные процессы в трехфазных управляемых выпрямителях. Электричество М. 1986г N8. 28-33с.
39. Мерабишвили П.Ф., Кохреидзе Г.К. Математическое моделирование Электромагнитных процессов в преобразовательной системе с трехфазным автономным инвертором тока. Электричество М. 1990г N3. Энергоатомиздат-во 31-37с..
40. კობრეიძე გ., გოგინაშვილი ნ., ყურაშვილი ი., ფხაკაძე შ., მეგენეიშვილი თ. წევის ქვესადგურების ერთიანი გარდამქნელ სისტემის მდგომარეობათა ცვლადების მატრიცული განტოლებების ამოხსნა. „ენერგია,” N2 (62) 2012წ. თბილისი, 30-36 გვ.
41. Дьяконов В., Круглов В. Математические пакеты расширения MATLAB. Специальный справочник. СПб.: Питер, 2001 г. 475с.
42. Герман-Галкин С.Г., Matlab & Simulink. Проектирование мехатронных систем на ПК. СПб.: Корона-Век, 2008г. 368с.

43. Герман-Галкин С.Г., Компьютерное моделирование полупроводниковых систем. СПб.: „Корона Принт” , 2001г. 320с.
44. Черных И.В. Моделирование электромеханических устройств в Matlab, Sim Power System и Simulink. Питер. ФМК. 2008г. 285с.
45. Гончаров Ю.П., Ермуратский В.В., Зайка Э.И., Штейнберг А.Ю. Автономные инверторы изд-во „Штинца“ 1974г. 336с.
46. Макаров И.М., Менский Б.М. Таблица обратных преобразований Лапласа и обратных Z-преобразований. М. „Высшая школа“ 1978г. 247с.
47. Неиман Л.Р., Демирчян К.С. Теоретические основы электротехники. В двух томах. Л. Энергоиздат. 1981г. 145 с.
48. Лутидзе Ш.И. Новая электротехника. М.И.З.Д. „Лонгфелло“ 2010г. 336с.
49. ფხაკაძე შ. ჰიბრიდული ავტონომიური ელექტროენერგეტიკული სისტემების პარალელური მუშაობის დინამიური პროცესების მოდელირება, რეჟიმების მართვა და ოპტიმიზაცია. საგანმანათლებლო პროგრამის კვლევითი კომპონენტის კოლოქვიუმი-3-ის სამეცნიერო ნაშრომი (ხელნაწერის უფლებით). სტუ, თბილისი, 2013. 1-65 გვ.
50. ფხაკაძე შ., კობრეიძე გ. ჰიბრიდული ავტონომიური ენერგეტიკული პარალელური სისტემის მუშაობის რეჟიმების ოპტიმიზაცია და მდგომარეობის გამოკვლევა. ჟურნალი „ენერჯია,” N4 (64) 2012წ. თბილისი, 43-47 გვ.
51. Прохорский А.А. Тяговые и трансформаторные подстанции. М.Транспорт. 1983. 496 с.
52. ლაოშვილი დ., კობრეიძე გ., ფხაკაძე შ., გოგინაშვილი ნ. ენერჯის განახლებადი წყაროების გამოყენების ტექნიკური პრობლემები. ჟურნალი „ენერჯია”, N1 (65) 2013წ. თბილისი, 32-39 გვ.