

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

ხელნაწერის უფლებით

ემელიანე გოგილიძე

„ენერგეტიკული ობიექტების დაცვის მიკროკონტროლერული  
სისტემის გამოკვლევა“

დოქტორის აკადემიური ხარისხის მოსაპოვებლად

წარდგენილი დისერტაციის

ავტორეფერატი

თბილისი

2015 წელი

სამუშაო შესრულებულია საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის  
ენერგეტიკისა და ტელეკომუნიკაციის ფაკულტეტის  
ელექტროტექნიკისა და ელექტრონიკის დეპარტამენტის სამრეწველო  
ელექტრონიკის მიმართულებაზე

სამეცნიერო ხელმძღვანელი: ტ.მ.დ. სრ. პროფ. ს. დადუნაშვილი

რეცენზენტები: -----

-----

დაცვა შედგება ----- წლის „-----“ -----, -----  
საათზე საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის -----  
----- ფაკულტეტის  
სადისერტაციო საბჭოს კოლეგიის სხდომაზე, კორპუსი -----  
, აუდიტორია -----

მისამართი: 0175, თბილისი, კოსტავას 77.

დისერტაციის გაცნობა შეიძლება სტუ-ს ბიბლიოთეკაში,

ხოლო ავტორეფერატისა - სტუ-ს ვებგვერდზე

სადისერტაციო საბჭოს მდივანი -----

აქტუალობა. სადისერტაციო ნაშრომი ეძღვნება ენერგობიექტების სადიაგნოსტიკო სისტემების ანალიზს და სინთეზს. ენერგობიექტებზე როგორც წესი, ტარდება გეგმიური დიაგნოსტიკა, რომლის მიზანია მოწყობილობების დეფექტების და ხარვეზების დროული გამოვლენა, ობიექტის მუშაობის უნარის შენარჩუნება და ტექნიკის ექსპლუატაციის ვადის გახანგრძლივება. არის შემთხვევები, როცა ელექტროდანადგარების გამოკვლევისათვის გამოყენებული არსებული მეთოდებით, მნიშვნელოვანი დეფექტებისა და ტექნოლოგიური გადახრების გამოჩვენება ვერ ხერხდება. კერძოდ, ეს ეხება შიდა დაზიანებებს, რომლებიც ყოველთვის არ შეიმჩნევა ვიზუალურად. ხოლო ახალ მეთოდოლოგიაზე – უკაბელო სენსორული ქსელზე (უსქ) და პროგრამირებად ლოგიკურ მატრიცაზე (პლმ) დაფუძნებული, მაღალი მგრძობელობის ექსპრეს-დიაგნოსტიკა, იძლევა დეფექტების იდენტიფიცირების საშუალებას, ობიექტის ან სისტემის მუშაობის პროცესში. ასეთი მონაცემების ვიზუალიზაცია და კომპიუტერული დამუშავება განსაზღვრავს, სწორი და დროული გადაწყვეტილებების მიღებას, რაც პირდაპირ გავლენას ახდენს ენერგობიექტების ფუნქციონირებაზე.

**პლმ**-ზე დაფუძნებული თანამედროვე მეთოდოლოგია, ითვალისწინებს ელექტრო და ელექტროქსელურ ობიექტებზე მიღებული ყველა დიაგნოსტიკური მონაცემების შენახვას. ამის საფუძველზე იქმნება ენერგობიექტის დიაგნოსტიკური მონაცემთა ბაზა, რომელიც წარმოადგენს სტრუქტურირებული მონაცემების კომპლექსს, რომელიც გამოიყენება და ფორმირდება ენერგობიექტის მოწყობილობების და ნაგებობების ტექნიკური დიაგნოსტიკისას. მოპოვებული მონაცემები ინახება მეხსიერების ციფრულ მოწყობილობებში და გამოიყენება შესაბამისი პროგრამული უზრუნველყოფის საშუალებით. ასეთი აპარატურულ-პროგრამული კომპლექსი გამოყენებული იქნება ენერგობიექტების ტექნიკური მდგომარეობის პროგნოზირებისათვის, როგორც მონიტორინგის საექსპერტო-დიაგნოსტიკური საინფორმაციო სისტემა. ასეთი სისტემა ავტომატურად უზრუნველყოფს, პერიოდიული შემოწმებებისას, მიღებული მონაცემების შენახვას, ახდენს ელექტრომოწყობილობების მდგომარეობების ტესტირებას და მონიტორინგს, მათი ექსპლუატაციის მთელი პერიოდის განმავლობაში.

ენერგობიექტების დიაგნოსტიკების არსებული მეთოდებისაგან განსხვავებით, უსქ-ის და პლმ-ის საშუალებით, ენერგეტიკულ ობიექტებში უფრო ეფექტური გახდება ტექნიკური დიაგნოსტიკება, რაც იწვევს ფინანსური დანახარჯების მნიშვნელოვან დაზოგვას.

ყოველივე ზემოთ აღნიშნულიდან გამომდინარე, წარმოდგენილი სადისერტაციო ნაშრომი, რომელიც ეძღვნება ენერგობიექტების დიაგნოსტიკების ახალი მეთოდების დანერგვას, უდაოდ აქტუალურია.

სამუშაოს მიზანს წარმოადგენს: ენერგობიექტების დიაგნოსტიკების ახალი ინსტრუმენტების და მეთოდოლოგიის დამუშავება და ადეკვატური სადიაგნოსტიკო სისტემის პროექტის დამუშავება.

სამუშაოს ძირითადი ამოცანები. სამუშაოს ძირითად ამოცანას წარმოადგენს: ისეთი დიაგნოსტიკური ავტომატიზებული სისტემის შექმნა, რომელიც მინიმალური პერსონალით ჩაატარებს ენერგობიექტების პერიოდულ ექსპრეს-დიაგნოსტიკებას, ექნება ენერგობიექტების საკუთარი მონაცემთა ბაზა, რომლის საფუძველზე შეიქმნება ენერგობიექტის დიაგნოსტიკური მოდელი და მოხდება ენერგობიექტების ტექნიკური მდგომარეობის პროგნოზირება.

დიაგნოსტიკების მონაცემების მისაღებად, მოხდება უსქ-ის დაგეგმარება. ამისათვის შეიქმნება მცირე ზომის გამზომი მოწყობილობები, რომლებიც უსქ-ის დახმარებით დაუკავშირდებიან ერთმანეთს, და ამ გზით გადაცემენ ერთმანეთს მართვის სიგნალებს. ხოლო გაზომილი სიდიდეების მნიშვნელობები, უსქ-ის მეშვეობით გადაიცემა სისტემის მთავარ პლატაზე (პლმ-ზე) და შემდეგ სადიაგნოსტიკო სისტემაში გადაწყვეტილების მისაღებად.

შედეგების გამოყენების სფერო. სამუშაოში მიღებული შედეგები შესაძლებელია ფართოდ იქნეს გამოყენებული ენერგეტიკის, მრეწველობის, სოფლის მეურნეობისა და საკოფაცხოვრებო სფეროებში.

უსქ-ის ტექნოლოგია გამოიყენება ობიექტების, პროცესების და სისტემების სუპერვიზორული კონტროლისათვის, და შორ მანძილზე გასაზომ წერტილებში მდგომარეობის იდენტიფიცირებისათვის.

პლმ-ის საშუალებით ენერგეტიკული ობიექტების დაცვის სისტემებში, უფრო საიმედო ხდება მათი ტექნიკური დიაგნოსტიკა, რაც ზრდის ენერგო-ობიექტების ექსპლუატაციის ეფექტურობას.

სამუშაოს აპრობაცია. დისერტაციის ძირითადი დებულებები და შედეგები მოხსენებული იყო საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის, სტუდენტთა მე-80, 81 და 82-ე ღია საერთაშორისო კონფერენციებზე.

კუბლიკაციები. სადისერტაციო ნაშრომის ძირითადი შედეგები გამოქვეყნებულია 3 სამეცნიერო ნაშრომში.

დისერტაციის სტრუქტურა და მოცულობა. დისერტაციის ტექსტი შედგება: შესავლის, ოთხი თავის, დასკვნის, რეზიუმის, 50 დასახელების გამოყენებული ლიტერატურის ჩამონათვალის და დანართებისაგან. დისერტაციის მოცულობა შეადგენს 157 გვერდს, ცხრილებისა და ნახაზების ჩათვლით.

## სამუშაოს მოკლე შინაარსი

### თავი I. ენერგოობიექტების მონიტორინგის ძირითადი პრობლემები

სამუშაოს პირველი თავი ეძღვნება ენერგოობიექტების ტექნიკურ დიაგნოსტიკას. ტექნიკური დიაგნოსტიკა – შეიცავს ინფორმაციას, რომელიც საჭიროა დანადგარების, მექანიზმების, აღჭურვილობების, კონსტრუქციებისა და სხვა ობიექტების ტექნიკური მდგომარეობის შეფასებისათვის. ტექნიკური დიაგნოსტიკის ძირითადი ამოცანებია: ობიექტის ტექნიკური მომსახურების ხარჯების მინიმუმამდე დაყვანა და მტყუნებების მაქსიმალური შემცირება.

ტექნიკური ობიექტების დიაგნოსტიკა, შეიცავს შემდეგ ფუნქციებს:

- ობიექტის ტექნიკური მდგომარეობის შეფასება;
- ხარვეზების და გაუმართავობების, აღმოჩენა და ლოკალიზირება;
- ობიექტის ტექნიკური მდგომარეობის მონიტორინგი.

ტექნიკური დიაგნოსტიკისას ვლინდება 2 ძირითადი პრობლემა:

- გაუმართავობების გაპარვის ალბათობა;
- „ცრუ განგაშის“ ალბათობა.

**მონიტორინგი** – რაიმე ობიექტზე, პროცესის დაკვირვების და მონაცემთა რეგისტრაციის პროცედურები მჭიდროდ არიან ერთმანეთთან დაკავშირებული

დროის ინტერვალებით, რომელთა დროსაც მონაცემთა მნიშვნელობები, არსებითად არ იცვლება. განასხვავებენ პარამეტრების და ობიექტის მდგომარეობის მონიტორინგებს:

➤ **პარამეტრების მონიტორინგი** – სხვადასხვა სახის პარამეტრებზე დაკვირვება. პარამეტრების მონიტორინგის შედეგია – გაზომილი მნიშვნელობები, რომლებიც მიღებულია, დროის გარკვეულ ინტერვალში, რომლის დროსაც, პარამეტრების მნიშვნელობები არსებითად არ იცვლება. პარამეტრების მონიტორინგისას, განასხვავებენ პირდაპირ და არაპირდაპირ დიაგნოსტიკურ პარამეტრებს. პირველი, პირდაპირ ახასიათებს ობიექტის მდგომარეობას, ხოლო მეორე დაკავშირებულია, პირდაპირი პარამეტრების ფუნქციურ დამოკიდებულებასთან.

➤ **მდგომარეობის მონიტორინგი** – ობიექტის მდგომარეობაზე დაკვირვება, ზღვრულ მდგომარეობაზე გადასვლის განსაზღვრისა და პროგნოზირებისათვის. ობიექტის მდგომარეობის მონიტორინგი გულისხმობს, ობიექტის დანადგარების მუშაობის პროგნოზირებას დროის გარკვეულ ინტერვალში, რომლის დროსაც ობიექტის მდგომარეობა, არსებითად არ იცვლება.

ძირითადი განსხვავება, მდგომარეობის მონიტორინგსა და პარამეტრების მონიტორინგს შორის არის ოპერატორის მიერ გაზომილი პარამეტრების არსებობა – სამაშველო, საექსპერტო სისტემაში, რომელიც განსაზღვრავს, ობიექტის მდგომარეობას და მის სამომავლო მართვას.

მონიტორინგის შედეგად შესაძლებელია მტყუნებების წინასწარი პროგნოზირება. ამისათვის არსებობს ტექნიკური აღჭურვილობის სხვადასხვა სქემები. ესენია: პრევენციული, პროფილაქტიკური, სარემონტო და ა.შ. ყველა ეს სქემა ემსახურება ერთადერთ მიზანს – აღკვეთოს ავარია ენერგობიექტზე. ამ ეტაპზე, კომპლექსური ტექნიკური დიაგნოსტიკა – ტექ-მომსახურების სისტემის, ერთ-ერთი ყველაზე მნიშვნელოვანი შემადგენელი ნაწილია. სწორედ კომპლექსური ტექნიკური დიაგნოსტიკის საშუალებით, განისაზღვრება აღჭურვილობის ტექნიკური მდგომარეობის და ცვეთის ხარისხის განსაზღვრა, ასევე პოტენციურად საშიში დეფექტების გამოვლენა (განსაზღვრავს რა, ტექ-აღჭურვილობის არსებული სტანდარტებიდან გადახვევას). ამ „გადახრების“ საფუძველზე, შესაძლებელია

მოხდეს ტექ-აღჭურვილობის მტყუნებების პროგნოზირება და დაიგეგმოს პრევენციული ღონისძიებების ჩატარება. ტექნიკური დიაგნოსტიკების საშუალებით, ენერგობიექტის მფლობელმა იცის, შეძლებს თუ არა ენერგობიექტი, გეგმიურ შეჩერებამდე მუშაობას. თუ ვერ შეძლებს, მაშინ მოხდება ენერგობიექტის არაგეგმიური შეჩერება, ტექ-აღჭურვილობის რემონტისათვის, მაგრამ მხოლოდ იმ მომენტში, როდესაც ენერგობიექტი გადატვირთულია მუშაობით (როდესაც არაგეგმიური შეჩერება ყველაზე „ნაკლებდანაკარგიანი“ იქნება).

სადიაგნოსტიკო აღჭურვილობის შერჩევის დროს, ენერგოეფექტურობა და აღჭურვილობის საიმედოობა არ უნდა იყოს ურთიერთგამომრიცხავი ცნებები. სტრატეგიულ ობიექტებზე, სწორედ საიმედოობისა და უსაფრთხოების (და არა ეკონომიის) ფაქტორები უნდა იყოს უპირველესი. ყველაზე მთავარი, ნებისმიერი დიაგნოსტიკური ორგანიზაციის მუშაობაში, არის ენერგობიექტის პარამეტრების, დამოუკიდებელი ექსპრეს-ანალიზი. მას ემსახურება სამეთვალყურეო კონტროლისა და მონაცემთა შეგროვების სისტემები. სადისერტაციო ნაშრომში განხილულია ასეთი სისტემის ფუნქციონირება და მართვის პროცესის თავისებურებები

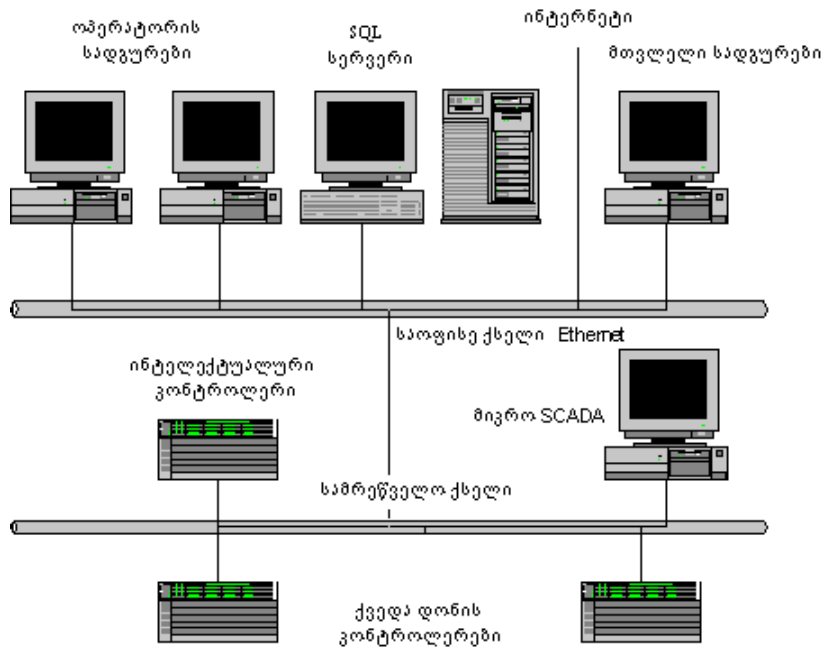
შესაბამისი პროგრამული პაკეტები, რომლებიც შემუშავებულია რეალური დროის სისტემებისათვის, ობიექტიდან მიღებული მონაცემების შეგროვების, დამუშავების, ასახვის, არქივიზაციისა და მართვისათვის. ასეთი სისტემების დამონტაჟება ხდება დასაკვირვებელ ობიექტებზე და ამჟამად გვევლინება ყველაზე უფრო პერსპექტიულ სისტემად, რომელიც ანხორციელებს სასიცოცხლოდ მნიშვნელოვან სფეროებში, რთული დინამიური ენერგობიექტების და შესაბამისი პროცესების ავტომატიზირებულ მართვას.

უკანასკნელი 10-15 წლის განმავლობაში, მსოფლიოში, მკვეთრად გაიზარდა ინტერესი მაღალი ხარისხის და მაღალი საიმედოობის სამეთვალყურეო კონტროლისა და მონაცემთა შეგროვების სისტემებზე. ერთის მხრივ, აღნიშნული ინტერესი, დაკავშირებულია კომპიუტერული ტექნიკის, პროგრამული უზრუნველყოფის და ტელეკომუნიკაციის პროგრესთან, რაც ზრდის ავტომატიზირებული სისტემების გამოყენების შესაძლებლობებს და აფართოვებს, მათი გამოყენების ფარგლებს. მეორეს მხრივ, ინფორმაციული ტექნოლოგიების განვითარებამ,

ავტომატიზაციის ხარისხის ზრდამ და ფუნქციების გადანაწილებამ, ადამიანსა (ოპერატორსა) და აპარატურას შორის, გაამძაფრა ოპერატორის და მართვის სისტემის ურთიერთქმედების პრობლემა. უმრავლესობა ავარიების კვლევამ და ანალიზმა, რომლებიც მოხდა მრეწველობისა და ენერგეტიკის სფეროებში, რომელთა ნაწილიც სავალალო შედეგებით დასრულდა, ცხადყო, რომ ადამიანის შეცდომებმა გამოიწვია კატასტროფების 80%. ავარიების პარალელურად, ტექნოლოგიების, ელექტრონული აღჭურვილობების და დანადგარების სრულყოფის დონე, უფრო და უფრო იზრდება. ავარიის გამომწვევი ძირითადი მიზეზი არის ძველი, ტრადიციული მიდგომა რთული, ავტომატიზირებული სისტემების შექმნისა და მათი მართვისა. ამჟამად, ეს სისტემები, ორიენტირებულია, პირველ რიგში, უახლესი ტექნოლოგიური მიღწევების გამოყენებაზე, სისტემების ავტომატიზაციური და ფუნქციონალური შესაძლებლობების ხარისხის გაუმჯობესებაზე, და ამავე დროს, ეფექტური ადამიანურ-მანქანური ინტერფეისის შექმნაზე, რომელიც ორიენტირებულია ოპერატორზე. მიწოდებული ინფორმაციის სისწორე და მონიტორზე მისი სრულყოფილად წარმოდგენა, მართვის „ბერკეტების“ ხელმისაწვდომობა, სისტემის რჩევების „გამოყენება“ და სხვ. – ეს ყველაფერი ამაღლებს მეთვალყურისა და სისტემის ურთიერთ-თანამშრომლობის ხარისხს, ხოლო კრიტიკული შეცდომები სისტემის მართვისას, უტოლდება ნულს.

მასალების შესწავლამ, რომელიც ეხება ეფექტური და საიმედო, სამეთვალყურეო მართვის სისტემების შექმნას, ცხადყო, რომ ასეთი სისტემების შექმნისას, საჭიროა ახალი მიდგომა, რომელიც პირველ რიგში, ორიენტირებულია ოპერატორზე და მის მიზნებზე. ახალი მიდგომის გამოყენების შემდეგ, დადასტურდა მისი ეფექტურობა, რომლის საშუალებითაც იზრდება ოპერატორების პროდუქტიულობის დონე, ხოლო პროცედურული და კრიტიკული (გამოუსწორებელი შეცდომა, რომელსაც უშვებს ოპერატორი) შეცდომების მაჩვენებელი, უტოლდება ნულს. სურ.1-ზე, ნაჩვენებია კონტროლისა და მართვის სისტემის ზოგადი სქემა.





სურ.1. კონტროლისა და მართვის სისტემის ზოგადი სქემა

პროცესები სისტემაში მიმდინარეობენ რეალურ დროში: დისტანციური წერტილებიდან (სენსორებიდან) ხდება ინფორმაციის შეგროვება. შემდეგ რეალურ დროში ხდება ყველა აუცილებელი შეტყობინების დამუშავება და ოპერატორის ცენტრალური ინტერფეისისათვის გადაცემა. თანამედროვე სამეთვალყურეო კონტროლის სისტემების გამოყენებისას დიდი მნიშვნელობა ენიჭება შემდეგი ამოცანების გადაჭრას:

- სისტემების შერჩევა ტექნოლოგიური პროცესის მოთხოვნებისა და თვისებების საფუძველზე;
- ადამიანური რესურსების ორგანიზება.

პროგრესმა, საინფორმაციო ტექნოლოგიების სფეროში, განაპირობა, სამეთვალყურეო კონტროლისა და მონაცემთა შეგროვების სისტემების სამი ძირითადი სტრუქტურული ერთეულის ჩამოყალიბება, ესენია:

**RTU (Remote Terminal Unit - დისტანციური ტერმინალი)** – რეალური დროის რეჟიმში ასრულებს მონაცემების დამუშავებას (კონტროლს). **RTU**-ის განხორციელების სპექტრი ძალიან ფართოა – დაწყებული ობიექტის მარტივი სენსორებიდან, რომლებიც ანხორციელებენ ობიექტიდან მონაცემების შეგროვებას, დამთავრებული – სპეციალიზირებული მრავალპროცესორიანი კომპიუტერული კომპ-

ლექსებით, რომლებიც ანხორციელებენ მონაცემების დამუშავებასა და გადაგზავნას, მკაცრად განსაზღვრულ, დროის რეჟიმში. RTU-ის კონკრეტული რეალიზაცია, განისაზღვრება კონკრეტული პროგრამით. მონაცემების დამუშავებისას, დაბალდონიანი მოწყობილობების გამოყენებით, მცირდება მოთხოვნის სიჩქარე, საკომუნიკაციო არხებსა და ცენტრალურ სამეთვალყურეო პუნქტს შორის.

**PLC (Programmable Logic Controller** - პროგრამირებადი ლოგიკური კონტროლერი) – წარმოადგენს სპეციალიზირებულ გამომთვლელ მოწყობილობას, როლიც განკუთვნილია, რეალურ დროში პროცესების მართვისათვის. მას აქვს მთვლელი მოწყობილობა **CPU (Central Processing Unit** - ცენტრალური პროცესორი) და **I/O (Input/Output Ports** - შემყვან/გამომყვანი პორტები), რომლებიც იღებენ მონაცემებს: სენსორებიდან, გადამრთველებიდან, კონვერტორებიდან, კონტროლერებიდან და სხვა მოწყობილობებიდან და ანხორციელებენ ობიექტის მუშაობის პროცესის კონტროლს, გადასცემენ რა, კონტროლის სიგნალებს სხვადასხვა დანიშნულების აქტუატორებზე.

**MTU (Master Terminal Unit** - მთავარი ტერმინალი) – სამეთვალყურეო მართვის პუნქტი. მაღალ დონეზე უზრუნველყოფს მონაცემების დამუშავებას და მართვას, რეალური დროის მონაკვეთში. მისი ერთ-ერთი მთავარი ფუნქციაა – ინტერფეისის უზრუნველყოფა, ოპერატორსა და სისტემას შორის. MTU-ის სისტემის მეშვეობით, შესაძლებელია ყველაზე მრავალფეროვანი სახით, დაწყებული ერთი კომპიუტერის, დამატებითი მოწყობილობების არხებზე მიერთებით, დამთავრებული მძლავრი კომპიუტერული სისტემებით, რეალიზება და მომუშავე ობიექტების და სერვერების, ლოკალურ ქსელში გაერთიანება.

## **თავი II. უსქ-ის გამოყენება ენეგობიექტების მონიტორინგისას**

სამუშაოს მეორე თავი ეხება ობიექტების მონიტორინგს უსქ-ის გამოყენებით. დღევანდელ დღეს, უდიდესი მნიშვნელობა შეიძინა უსქ-მა. უკაბელო ქსელით მართვა და მონიტორინგი – რევოლუციური ნაბიჯია, თანამედროვე ტექნოლოგიების განვითარების კუთხით. 21-ე საუკუნის დასაწყისში, მიკროელექტრონიკის განვითარებამ განაპირობა უსქ-ის ელემენტული ბაზის შექმნა. უკაბელო კომუნიკა-

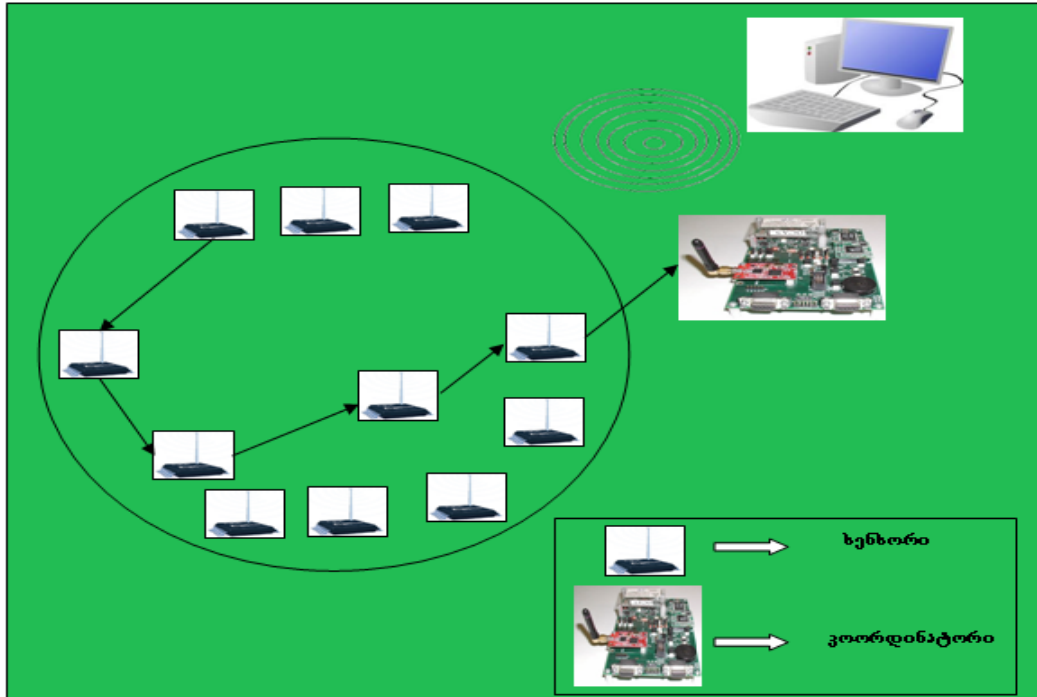
ციებისა და ციფრული ელექტრონიკის საშუალებით, შესაძლებელი გახდა LPWSN (**Low-Power Wireless Sensor Network** – დაბალი სიმძლავრის უსქ-ის)-ის შექმნა.

ჩვენი მიზანია უსქ-ის სისტემური და პროგრამული დაგეგმარება, რომელიც გამოყენებას ჰპოვებს ენერგობიექტების ექსპრეს-დიაგნოსტიკისათვის. ამ მიზნის მისაღწევად, განხორციელდა მცირე ზომის გამზომი მოწყობილობები დაგეგმარება, რომლებიც უკაბელო სენსორული ქსელის დახმარებით, დაუკავშირდებიან ერთმანეთს და ამ გზით გადაცემენ ერთმანეთს გაზომილი შედეგების მნიშვნელობებს.

უსქ-ი შედგება დიდი რაოდენობის კვანძებისაგან, რომლებიც კომპაქტურად არიან განლაგებულნი დასაკვირვებელი ობიექტის წინასწარ მოცემულ წერტილებში. კვანძების მუშაობისათვის საჭირო ოქმებს და ალგორითმებს, შეუძლიათ განახორციელონ თვითორგანიზების პროცესი. უსქ-ის კიდევ ერთი უნიკალური თვისებაა: ცალკეული, ინდივიდუალური კვანძების ერთობლივი მუშაობა. უსქ-ის მეშვეობით, ხდება მონაცემების შეგროვება და ინფორმაციის გადაცემა მონაცემთა სერვერში, წინასწარ განსაზღვრული დროის ინტერვალში. უსქ-ის პირველადი მონაცემების გადაცემამდე, შეუძლიათ ამ მონაცემების დამუშავება, მარტივი გამოთვლების შესრულების გზით, ხოლო ამის შემდეგ, პირველადად დამუშავებული მონაცემების გადაცემა.

უსქ-ში, სენსორები და შემსრულებელი მოწყობილობები, ერთმანეთთან დაკავშირებულია რადიო გადამცემებით. ფართობი, რომელიც ასეთი ქსელითაა დაფარული, რამდენიმე მეტრიდან, რამდენიმე კილომეტრამდე მერყეობს. ასეთი დიდი მასშტაბის დიაპაზონი იმ სარალო შეტყობინებების დამსახურებაა, რომელთა საშუალებითაც შეტყობინებები გადაიცემა, ერთი ელემენტიდან მეორეში.

უსქ-ის ტიპური არქიტექტურა ნაჩვენებია სურ.2-ზე.

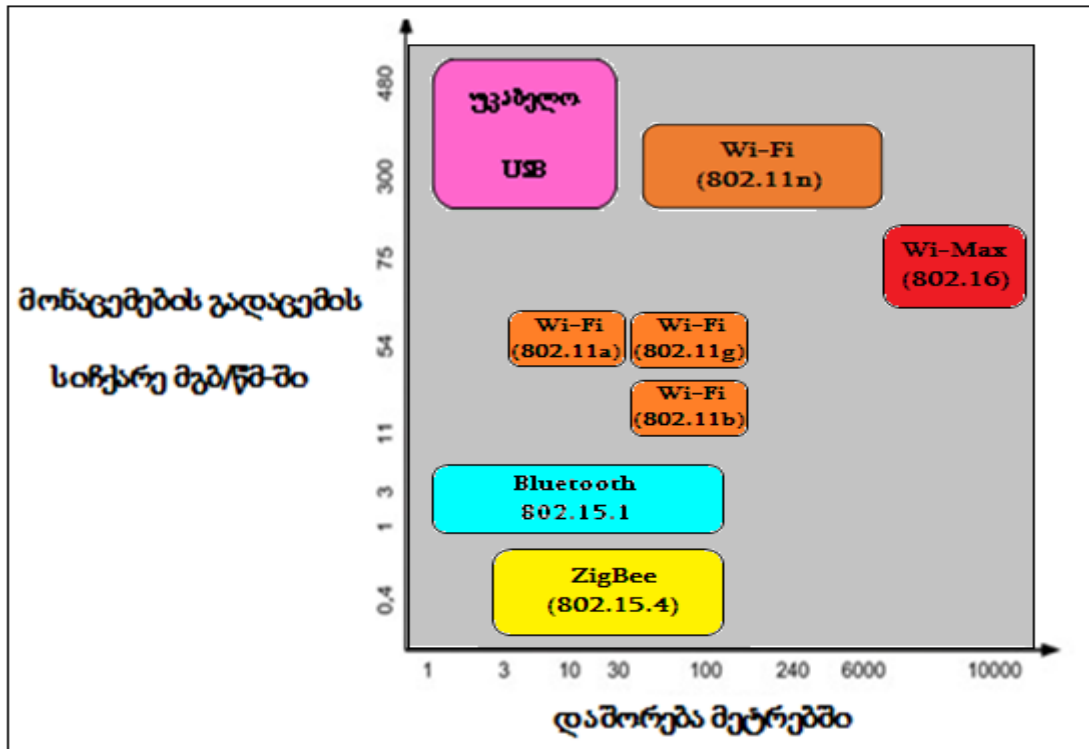


სურ. 2. უსქ-ის ტიპური არქიტექტურა

უსქ-ის ერთ-ერთი ყველაზე მნიშვნელოვანი უპირატესობაა – დაბალი ენერგომომხმარება. უსქ-ის ქსელურ პროტოკოლებს გააჩნიათ მთელი რიგი მექანიზმებისა, რომლებიც მომხმარებელს საშუალებას აძლევს გაახანგძლივოს კვანძების მუშაობა – მონაცემთა გამტარ-უნარიანობის სიჩქარის შემცირებით ან მონაცემთა გადაცემის დაყოვნების გზით. უსქ-ი შეიძლება შედგებოდეს სხვადასხვა ტიპის სენსორებისაგან.

თითოეული უკაბელო სენსორი აღჭურვილია **RF (Radio Frequency - რადიო სიხშირის გადამცემი)**-ით და **MCU (MicroController Unit -მიკროკონტროლერი)**-ით, რომელთა საშუალებითაც, ხორციელდება ალგორითმის მართვა, მონაცემთა შეგროვებისათვის და ინფორმაციის გადაცემისთვის, წინასწარ განსაზღვრული დროის ინტერვალში.

ყველაზე ცნობილი უკაბელო ტექნოლოგიებია: **Wi-Fi, Wi-Max, Bluetooth, Wireless USB** და შედარებით ახალი ტექნოლოგია **ZigBee** (IEEE802.15.4-ის სტანდარტზე დაფუძნებული უკაბელო სენსორული ქსელი), რომელიც თავდაპირველად შემუშავდა სამრეწველო მიმართულებებისათვის. (იხ. სურ. 3).



სურ. 3. უკაბელო კავშირების სტანდარტები

უკაბელო ტექნოლოგიების ანალიზმა აჩვენა, რომ მაღალსიჩქარიანი ტექნოლოგიები Wi-Fi, Wi-Max, Bluetooth და Wireless USB, განკუთვნილი არიან პირველ რიგში, კომპიუტერული პერიფერიის და მულტიმედიური მოწყობილობების მომსახურებისათვის. ხსენებული ტექნოლოგიები ოპტიმიზირებულნი არიან იმისათვის, რომ დიდი მოცულობის ინფორმაცია გადასცენ მაღალი სიჩქარით.

მსოფლიოში უსკ-ის სტანდარტებიდან ყველაზე გავრცელებულია საშუალებაა – ZigBee. ZigBee – უსკ-ის, დაბალი ენერგომომხმარების სტანდარტია, რომელიც თავდაპირველად შემუშავდა მოკლე მანძილებზე, პატარა მოცულობის მონაცემების გადასაცემად. ფაქტობრივად, ეს სტანდარტი აღწერს პროგრამულ-აპარატურული კომპლექსის მუშაობის წესებს.

ZigBee-ის ტექნოლოგია ფლობს მნიშვნელოვან უპირატესობებს სხვა ტექნოლოგიებთან შედარებით:

- ორიენტირებულია მულტი-მიკროპროცესორული სისტემების მართვაზე, „ჭკვიანი“ სენსორების ნაკრებთან ერთად;
- მოიხმარს მცირე რაოდენობის ელექტროენერგიას;
- უზრუნველყოფს თვითმმართველი ქსელების, რთული ტოპოლოგიების ორგანიზებას, სადაც შეტყობინების მიმართულება ავტომატურად განისაზღვრება, არა მხოლოდ საჭირო რიცხვით ან კვანძების ჩართვა/გამორთვით კონკრე-

ტულ მომენტში, არამედ კვანძებს შორის კავშირების ხარისხით, რაც ავტომატურად განისაზღვრება აპარატურულ დონეზე;

➤ უზრუნველყოფს მამტაბურობას – ავტომატურ შესვლას კვანძის მუშაობაში ან კვანძებისათვის ენერჯის მიწოდებას;

➤ უზრუნველყოფს ქსელის მაღალ საიმედოობას, ალტერნატიური მარშრუტით შეტყობინების გადაცემას, ინდივიდუალური კვანძების მწყობრიდან გამოსვლის შემთხვევაში;

➤ მხარს უჭერს ჩაშენებულ აპარატურულ შეტყობინებების **AES-128 (Advanced Encryption Standard – შიფრაციის გაფართოვებული 128 ბიტანი სტანდარტი)**-ის დაშიფვრის მექანიზმებს და გამორიცხავს ქსელის არასანქცირებული წვდომის შესაძლებლობას.

**ZigBee**-ის ქსელში გათვალისწინებულია 3 ტიპის მოწყობილობა: კოორდინატორი; როუტერი და დამაბოლოებელი მოწყობილობა (ტერმინალი – კვანძი, რომელიც მომხმარებელს აერთებს კავშირგაბმულობის ქსელთან).

კოორდინატორი ანხორციელებს ქსელის ინიციალიზაციას, ქსელს მართავს კვანძებით, ინახავს ინფორმაციას თითოეული კვანძის შესახებ, განსაზღვრავს არხების სიხშირეთა რაოდენობას და ქსელის საიდენტიფიკაციო ნომერს. ხოლო მუშაობის პროცესში, შესაძლებელია მოგვევლინოს წყაროდ, რომელიც მიიღებს და გადასცემს სარელეო შეტყობინებებს.

როუტერი ირჩევს იმ გზას, რომლითაც ქსელში უნდა გადაიცეს შეტყობინება, ერთი კვანძიდან მეორეში. ხოლო მუშაობის პროცესში, როუტერი შეიძლება მოგვევლინოს წყაროდ, რომელიც მიიღებს ან გადასცემს სარელეო შეტყობინებებს.

ტერმინალი არ მონაწილეობს ქსელის მართვაში და სარელეო შეტყობინებების გადაცემაში, გვევლინება მხოლოდ შეტყობინებების წყაროდ და გადამცემად.

დღევანდელ დღეს **ZigBee**-ი მარტივად გამოსაყენებელი და დაბალი ღირებულების მქონეა. მას შეუძლია: დისტანციური მონიტორინგი, სხვადასხვა შენობების კონტროლი და ავტომატიზაცია. **ZigBee**-ის ყოვლისმომცველი პლატფორმა, მათ შორის: მიკროკონტროლერი, **RF**-ი, შუალედური და პროტოკოლის დასტები, იძლევა საშუალებას, უფრო ადვილად შექმნას **ZigBee**-ის ქსელი.

**ZigBee**-ის სტანდარტის კიდევ ერთი გამორჩეული თვისებაა – ქსელის მაღალი საიმედოობა, ცალკეული კვანძების მწყობრიდან გამოსვლის შემთხვევაში. **ZigBee**-ის სტანდარტი დაფუძნებულია იმაზე, რომ ქსელის თითოეული კვანძი ახდენს, მეზობელი კვანძების მონიტორინგს, ანახლებს რა, მუდმივად მარშრუტიზაციის ცხრილებს, გამავალი დენის და მარშრუტიზაციის ცხრილებისაგან მიღებული სიგნალების, შეფასების საფუძველზე.

შედეგად, სივრცითი მეზობლების (კვანძების) ადგილმდებარეობის ცვლილებისას ან ქსელიდან ერთი კვანძის ამოვარდნისას, გამოითვლება შეტყობინების ახალი მარშრუტი. **ZigBee**-ის სტანდარტის ეს უპირატესობა, უმნიშვნელოვანესია სამრეწველო ობიექტებზე მომუშავე ქსელებში, მძიმე პირობებში არსებული ობიექტის ექსპლუატაციისათვის, ასევე იმ შემთხვევებში, როდესაც ნაწილი კვანძებისა, განლაგებულია მოძრავ მოწყობილობებზე.

**ZigBee**-ის დასტის რეალიზაცია, ხდება სხვა დამატებით მიკროკონტროლერზე, რაც მნიშვნელოვნად ამცირებს დატვირთვას მთავარ – **DSPM (Digital Signal Processing Microcontroller**-ციფრული სიგნალების დამუშავების მიკროკონტროლერი)-ზე. ელექტრომოწყობილობებში ეს არის საუკეთესო გადაწყვეტა, როდესაც საქმე ეხება, სერიული პროდუქციის და არა საცდელი სამრეწველო ნიმუშების შექმნას. იმ შემთხვევაში, თუ ძირითად **DSPM**-ს არ გააჩნია სპეციალური მოთხოვნა სწრაფ მუშაობაზე, ასეთ შემთხვევაში, სისტემის კონტროლი ხორციელდება ერთი მიკროსქემით. მიუხედავად იმისა, რომ ასეთი გადაწყვეტა შეიძლება რეკომენდირებული იყოს, შედარებით მარტივი მოწყობილობების სისტემებისათვის.

ზოგიერთი მოდიფიკაციის **ZigBee**-ის მზა მოდულების გამოყენებისას, **FC**-ი, საერთოდ არ არის საჭირო. ამასთან, **ZigBee**-ის დასტის რეალიზაცია ხდება მოდულის შიგნით. უსქ-ში, უკაბელო კავშირის დასამყარებლად, აუცილებელია საჭირო მოდულის ინტერფეისის ხელმისაწვდომობა, ქსელის მთავარ მიკროკონტროლერთან. ამ გადაწყვეტით მნიშვნელოვნად მცირდება, უსქ-ის საბოლოო მოწყობილობის შექმნის დრო.

**ZigBee**-ის **SDK (Software Development Kit** – პროგრამული უზრუნველყოფის დამუშავების ნაკრები)-ის და **GUI (Graphical User Interface** – გრაფიკული სამომხმ-

რებლო ინტერფეისი)-ის საშუალებით ხორციელდება ფიქვური ქსელების კონფიგურაცია. **SDK**-ი ასევე მხარს უჭერს დიაგნოსტიკასა და ქსელების გამართვას.

**ZigBee**-ის უსქ-ის შემუშავება და განვითარება, ბევრ ფაქტორზეა დამოკიდებული, ესენია: მდგრადობის ფაქტორი, მასშტაბურობა, წარმოების დანახარჯები, საოპერაციო გარემოს გაცნობა/შესწავლა, ქსელის ტოპოლოგია, აპარატურული შეზღუდვები, ინფორმაციის გადაცემის მოდელი და ენერგომომარება.

**ZigBee**-ის მოქნილი არქიტექტურა, მოიცავს ინტელექტუალურ (ჭკვიან) სენსორებს, რომლებიც საჭიროა სხვადასხვა მოწყობილობებს შორის, ინფორმაციის გაცვლისათვის, განსაკუთრებით, მაშინ როდესაც საქმე ეხება უამრავი მოწყობილობის ერთმანეთთან დაკავშირებას.

**ZigBee**-ის უსქ-ის ტექნოლოგია არის ერთ-ერთი თვითმმართვედი და თვით-ორგანიზებადი გარემო. დღევანდელ დღეს, **ZigBee**-ის ტექნოლოგია, არის ერთადერთი ყველაზე გამოცდილი, უკაბელო ტექნოლოგია, რომლის საშუალებითაც შესაძლებელია მონიტორინგის და მართვის ამოცანების გადაჭრა, რომლებიც კრიტიკულნი არიან გადამწოდების მუშაობის დროის მიმართ. **ZigBee**-ის სენსორები ტერიტორიულ მონაკვეთზე, ქმნიან განაწილებული მონაცემების მიღების, შეკრების, დამუშავებისა და გადაცემის თვითორგანიზებად სისტემას. მის მთავარ მიზანს წარმოადგენს ფიზიკურ გარემოში არსებული ობიექტების პარამეტრების გაზომვა, მართვა და მონიტორინგი.

### **თავი III. ენერგობიექტების მონიტორინგის სისტემა**

ნაშრომის მესამე თავში დამუშავებულია მონიტორინგის სისტემის პროექტი. შესრულებულია სისტემის კომპლექსური აღწერა. განხილულია უკაბელო სენსორული ქსელის გამოყენება ენერგობიექტების ექსპრეს-დიაგნოსტიკისათვის. ამ მიზნის მისაღწევად, შეიქმნა მცირე ზომის გამზომი მოწყობილობები, რომლებიც უკაბელო სენსორული ქსელის დახმარებით დაუკავშირდებიან ერთმანეთს და ამ გზით გადაცემენ ერთმანეთს გაზომილი შედეგების მნიშვნელობებს.

ენერგობიექტებზე გასაზომი წერტილების სიმრავლე წარმოშობს აუცილებლობას შეიქმნას სპეციალური მოწყობილობა უკაბელო სენსორული კავშირის განვითარებისთვის, რომელიც უზრუნველყოფს სასურველ ადგილას საჭირო



მონაცემების მიწოდებას, ადამიანის თითოეულ გასაზომ წერტილში მუდმივი სტუმრობისა და ადგილზე გაზომვების ჩატარების გარეშე, რაც უფრო ეფექტურს გახდის ამა თუ იმ ობიექტის საქმიანობას.

ამ იდეის საფუძველზე, მოხდა ხუთი მცირე ზომის პლატის დაპროექტება. ეს ხუთი პლატა არის: ტემპერატურის, ვიბრაციის, აკუსტიკური სიგნალების, დახრილობის გამზომი პლატები და ინტერფეის-პლატა. ისინი აღჭურვილი იქნება **ZigBit ATZB-24-A2** (ZigBee-ის ზედა დონის მოდელი)-ის მოდულით, რომელშიც ჩაშენებულია **ATmega1281** (ATMEL-ის ტიპის მიკროკონტროლერი) მიკროკონტროლერი და **AT86RF230** (ATMEL-ის ტიპის **ZigBit**-ის რადიო მიმღებ-გადამცემი)-ი რადიო მიმღებ-გადამცემი. რისი საშუალებითაც იგი უზრუნველყოფს მონაცემების გადაცემას ქსელში ყოველგვარი კაბელის გარეშე.

ინტერფეის-პლატას უკაბელო ქსელში აქვს კოორდინატორის ფუნქცია, და უკავშირდება ზემოთჩამოთვლილ სენსორულ პლატებს, რომლებიც ამ ქსელში **End Device** (ქსელის დამაბოლოვებელი მოწყობილობა)-ების როლს ასრულებენ.

სპეციალური **EDD (Express Diagnostics Device – ექსპრეს დიაგნოსტიკის მოწყობილობა)**-ის სქემის, **SPI (Serial Peripheral Interface – სერიულ პერიფერიული ინტერფეისი)**-ის დახმარებით ხორციელდება კავშირი მასსა და ინტერფეისპლატას შორის. ამ კომუნიკაციაში, მასზედ დამონტაჟებული მიკროკონტროლერი ასრულებს "დაქვემდებარებულის" ფუნქციებს, ხოლო ინტერფეისპლატაზე დამონტაჟებული **ATmega1281** კი –"მთავარის". სადაც, **ATmega88** (ATMEL-ის ტიპის მიკროკონტროლერი) – ანუ "დაქვემდებარებული" ღებულობს ინფორმაციას, რომელსაც ინტერფეისპლატა აგზავნის, ხოლო მიღებული ინფორმაციის გამოსახვა კი ხდება **LCD (Liquid Crystal Display – თხევადკრისტალურ დისპლეიზე)**-ზე.

**Open MAC (Open Media Access Control – ღია სისტემების მედია წვდომის კონტროლი)**-ის სააპლიკაციო პროგრამა **Star\_Nobeacon**-ში გაერთიანდა ყველა ის პროგრამული კოდი, რომლებიც საჭიროა სენსორული პლატებისათვის, მათზე დამონტაჟებული სენსორების გამოყენებით გაზომვების შესასრულებლად, ხოლო ინტერფეის-პლატისათვის კი პროგრამული კოდი, რომლის საშუალებითაც

ინტერფეის-პლატა, SPI-ით, EDD-სთან კომუნიკაციისას, ასრულებს "მთავარის" როლს.

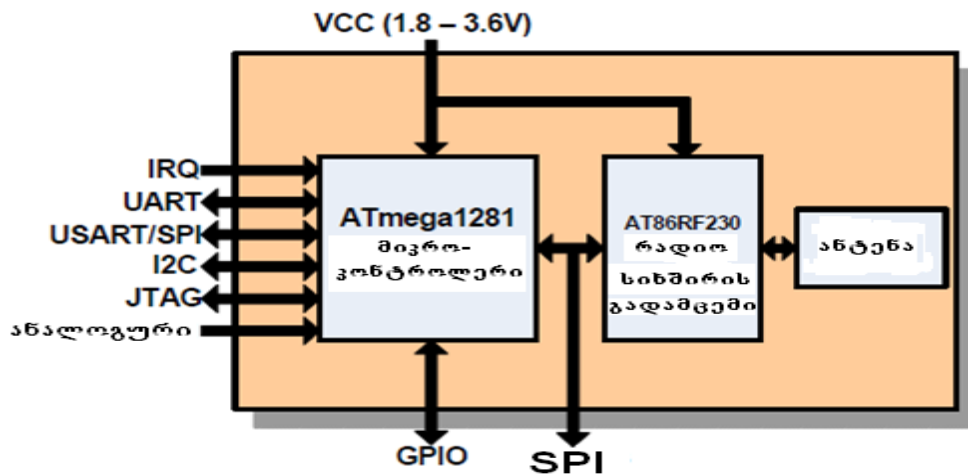
შედეგად, მიღებულ იქნა შემდეგი სურათი: EDD-ებზე, დამონტაჟებული შესაბამისი სენსორების მიერ წარმოებული გაზომვების შედეგები, უკაბელო ქსელის საშუალებით გადაეცემა კოორდინატორს, რომლის-განაც SPI-ის გამოყენებით ინფორმაცია იგზავნება "დაქვემდებარებულზე", რომლის დისპლეიზეც ხდება ამ ინფორმაციის გამოსახვა. ინტერფეის პლატა კი იღებს მონაცემებს თითოეული ზემოთხსენებული სენსორული პლატისაგან და SPI-ის საშუალებით აგზავნის EDD-ზე.

პროექტში გამოყენებულია ხუთი მცირე ზომის პლატა. რომელთაგან ერთი გამოიყენება ტემპერატურის, მეორე – ვიბრაციის, მესამე – აკუსტიკური სიგნალების და მეოთხე – დახრილობის გასაზომად, მეხუთე ინტერფეის-პლატა კი ასრულებს კოორდინატორის ფუნქციას. ეს ხუთი პლატა ქმნის უკაბელო სენსორულ ქსელს, რომელშიც კავშირი ხორციელდება თითოეულ პლატაზე დამონტაჟებული ZigBit ATZB-24-A2-ის მოდულის დახმარებით. იგი უზრუნველყოფს ინფორმაციის გაცვლას. ინტერფეის-პლატიდან მონაცემების გადაცემა ხორციელდება EDD-ზე, SPI-ის ინტერფეისის სიგნალებით. სწორედ EDD-ის დისპლეი გამოიყენება გაზომვების შედეგების წასაკითხად, რომლებიც სავსებით საკმარისია ენერგობიექტებზე შესაბამისი ფიზიკური სიდიდეების მნიშვნელობების აღსაწერად. სტრუქტურულად სისტემა ასე გამოიყურება (სურ. 4):



სურ. 4. სისტემის სტრუქტურული სქემა

ZigBit ATZB-24-A2-ი დუალური ანტენის ჩიპით წარმოადგენს საუკეთესო მოდულს IEEE 802.15.4/ZigBee კლასში. იგი არის კვადრატულდიუმიანი მოწყობილობა, რომელსაც შეუძლია უკაბელო კავშირის გზით მონაცემთა და მართვის სისტემებისათვის უამრავი ფუნქციების შესრულება. ZigBit ATZB-24-A2-ის ბლოკ-სქემა ნაჩვენებია სურ. 5-ზე:



სურ. 5. ZigBit ATZB-24-A2-ის ბლოკ-სქემა

„ინტელექტის“ ჩასაშენებელ კვანძი, ამუშავებს შორეული ტერმინალებიდან მიღებული აქტუალურ ინფორმაციას, რომელიც არ შეიცავს სემანტიკური სახის დიდი მოცულობის მონაცემებს, მონაცემთა ბაზების დამუშავებისა და მართვის პროგრამაში – MS Access (Microsoft Access - მონაცემთა მართვის სისტემა)-ში, სადაც ურთიერთდაკავშირებული მონაცემების ერთობლიობა ასახავს კონკრეტული მართვის ობიექტის მდგომარეობას და მასში მიმდინარე პროცესებს.

მონაცემთა ბაზის ორგანიზება, ბევრად არის დამოკიდებული იმაზე, თუ როგორ არის რეალიზებული კავშირები მონაცემების ელემენტებსა და შედგენილ ერთეულებს შორის. მონაცემთა ბაზის შექმნის დროს გათვალისწინებულია ყველა არსებული და მომავალში დასაშვები კავშირები ბაზის ერთეულებს შორის.

ბაზის ძირითად ობიექტს წარმოადგენს ცხრილი, რომელიც შეიცავს ინფორმაციას ერთი ტიპის მართვის ობიექტებზე. რელაციური ბაზის ცხრილი შედგება მრავალი სტრიქონისა და სვეტისაგან. თითოეული სტრიქონი შეიცავს ინფორმაციას ერთ დიაგნოსტიკურ ერთეულზე. ყველა ჩანაწერს აქვს ერთგვაროვანი სტრუქტურა. იგი შედგება ველებისაგან, რომლებშიც ინახება ობიექტის ატრი-

ბუტები. ყველა ჩანაწერს აქვს იდენტური ველი, ამიტომ ცხრილის თითოეული სვეტი შეიცავს ცხრილში წარმოდგენილი ერთეულების ერთი და იგივე თვისებას. შექმნილი მონაცემთა ბაზა საშუალებას გვაძლევს, სხვა დამოუკიდებელი პლატფორმების გამოყენების გარეშე, მონაცემთა კონვერტაცია მოვახდინოთ სხვა **MS Access**-ის პროგრამების პაკეტებთან, და მიღებული ინფორმაცია გამოვიყენოთ პროგრამული კოდისა და ალგორითმის შედგენისას.

მონაცემთა ბაზებში შენახული მონაცემების დამუშავება ხდება სპეციალური პროგრამის გამოყენებით. პროგრამა ასრულებს საზომი მონაცემების დამუშავებას და გამოყენებას. პროგრამის ალგორითმი უზრუნველყოფს ბაზაში არსებული მონაცემების მართვას და ფაქტორული ანალიზის ჩატარებას. მართვის ობიექტის მდგომარეობის შესაბამისად, ალგორითმი ითვალისწინებს ორფაქტორიანი, სამფაქტორიანი და საჭიროების შემთხვევაში ოთხფაქტორიანი ანალიზის ჩატარებას, ფაქტორების გავლენის არსებითობის დადგენას და მათი გავლენის ეფექტის შეფასებას.

შედეგად, „ინტელექტის“ ჩასაშენებელი კვანძი შეძლებს ლატენტური დიაგნოსტიკური პარამეტრების მიღებას და გაანალიზებას. ასეთი პროგრამის აპარატურულ ბაზას წარმოადგენს პროგრამირებადი ლოგიკური მატრიცა – **XilinxZynq® –7000**-ი.

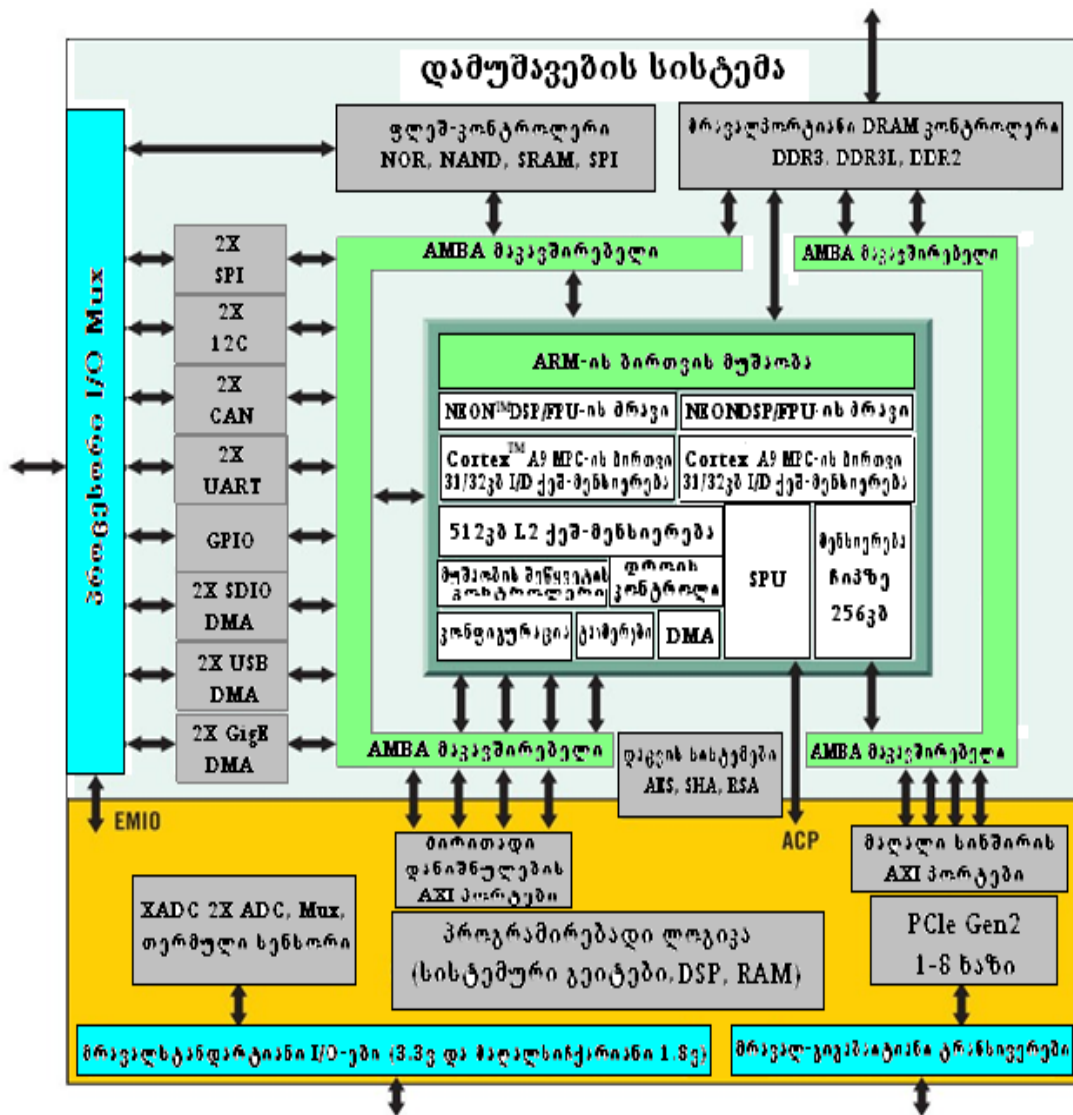
**XilinxZynq®-7000**-ი – პროგრამირებადი ლოგიკური მატრიცის ტიპი, რომელიც ინტეგრირდება ორბირთვიან **ARM® Cortex™** (4 ბირთვიანი 32 ბიტის პროცესორის ბლოკი, რომელიც შედგება 2, ორ-ბირთვიანი **Cortex-A9** ბირთვისგან)–ის პროცესორზე, **PS (Processing System – გენერირების სისტემა)**-ის და **PL (Programmable Logic – პროგრამირებადი ლოგიკა)**-ის საფუძველზე. **ARM® Cortex™**-ის პროცესორი, გვევლინება **PS**-ის ცენტრად, რომელიც ასევე მოიცავს **SoC (System-on-a-Chip – “სისტემა-ჩიპზე”)**-ზე, მეხსიერების გარე ინტერფეისებს და პერიფერიული მოწყობილობების **I/O (Input/Output)**-ის სიგნალების მდიდარ ნაკრებს. **XilinxZynq-7000**-ის გამოყენების სფერო არის „ჩაშენებული სისტემები“. **XilinxZynq-7000**-ი უზრუნველყოფს **FPGA (Field-Programmable Gate Array – ვენტილური მატრიცის პლატა)**-ს მოქნილობას და მამტაბურობას. **XilinxZynq-7000**-ში არსებული

**PS, PL** და **I/O** რესურსების ვარირება ხდება მოწყობილობებს შორის. შედეგად – **XilinxZynq-7000**-ში შემავალ მოწყობილობებს, შეუძლიათ მოემსახურონ გამოყენების ფართო სპექტრს.

**XilinxZynq-7000**-ის არქიტექტურა ძალიან კარგად ასახავს გამოყენებით ლოგიკას და პროგრამულ უზრუნველყოფას **PL**-სა და **PS**-ში. ეს ყოველივე იძლევა საშუალებას, მოხდეს რეალიზება სისტემის უნიკალური და დიფერენცირებული ფუნქციებისა. **PS**-ის ინტეგრაცია **PL**-თან, უზრუნველყოფს წარმოებულობის მაღალ დონეს. **Xilinx**-ში, **ISE (Integrated Software Environment)®Design Suite** (ინტეგრირებული პროგრამული გარემო)-ს საშუალებით, ხდება პროდუქტის სწრაფი განვითარება, პროგრამული უზრუნველყოფის თვალსაზრისით.

პროცესორები **PS**-ში, ყოველთვის იტვირთება პირველ რიგში, რაც იძლევა **PL**-ის სისტემის პროგრამული უზრუნველყოფის და კონფიგურაციის საშუალებას. **PL**-ის კონფიგურირება შესაძლებელია, როგორც ნაწილი ჩატვირთვის პროცესისა ან ჩაშენდეს მომავალში. ამას გარდა, **PL**-ი შესაძლებელია მთლიანად შეიცვალოს ან გამოყენებულ იქნას ნაწილობრივ დინამიური რეკონფიგურაცია **PR (Programmable Reconfiguration - პროგრამირებადი რეკონფიგურაცია)**. **PR**-ის საშუალებით კონფიგურირდება **PL**-ის ნაწილი, რაც იძლევა, დამატებითი კონსტრუქციული ცვლილებების საშუალებას, ისეთების როგორიცაა: კოეფიციენტების განახლება ან საჭიროების შემთხვევაში, **PL**-ის რესურსების მულტიპლექსირება, ახალი ალგორითმების ცვლილების გზით. **PL**-ის კონფიგურაციის მონაცემებს უწოდებენ ბიტების ნაკადს.

პროგრამული უზრუნველყოფის და **I/O** სიგნალების დაპროგრამების საშუალებას, **Zynq®-7000**-ის გამოყენებით, შესაძლებელია ინტელექტუალური სისტემების შექმნა, რომლებიც მჭიდროდ არიან დაკავშირებულნი პროგრამულ უზრუნველყოფასთან, რომელიც დაფუძნებულია კონტროლზე, ანალიზზე, რეალურ დროში აპარატურულ დამუშავებაზე, და ოპტიმიზირებულ სისტემურ ინტერფეისებზე. მე-6 სურათზე გამოსახულია **Zynq®-7000 AP SoC**-ის ინფორმაციის დამუშავების, სისტემის მუშაობის ბლოკ-სქემა.



სურ. 6. Zynq@-7000 AP SoC-ის ბლოკ-სქემა

**თავი IV.** ენერგობიექტების მონიტორინგისა და მართვის ავტომატიზირებული სისტემები

ნაშრომის მეოთხე თავი ეძღვნება მონიტორინგისა და მართვის ავტომატიზირებული სისტემის ალგორითმის დამუშავებას. ჩამოყალიბებულია ენერგობიექტების ავტომატიზაციის მახასიათებლები, თანამედროვე საინფორმაციო საშუალებების გამოყენებით. ენერგობიექტების ავტომატიზაცია მოიცავს მთელი რიგი საკითხების გადაწყვეტის კომპლექსს, ესენია: მონაცემთა შეგროვება, ინფორმაციის დამუშავება და ასახვა, ასევე ქვედა დონის ინფორმაციის გადაცემა სამეთვალყურეო ცენტრში. ასეთი სახის ინფორმაციის წყაროებია: მიერთების კონტროლერები, მრიცხველები, სარელეო დაცვის ტერმინალები, ავარიის საწინააღმდეგო კომპლექსები, აღჭურვილობის მონიტორინგის სისტემები.

ელექტროენერგეტიკულ სისტემებში ობიექტების კონფიგურაციის აღწერისათვის, შემუშავებულია ენა **SCL (Substation Configuration Language** - ქვესადგურის აღწერილობის ენა).

პროექტის რეალიზაცია, რომ არ იყოს დამოკიდებული აღჭურვილობის კონკრეტულ მიმწოდებელზე, აუცილებელია პროექტის კონფიგურაცია **SCL**-ის ერთიან ფორმატში, რომელიც მოიცავს სრულ ინფორმაციას, არა მხოლოდ მოწყობილობების, არამედ ობიექტის მთლიანი სქემისაც, რაც იძლევა ამ აღწერის შესაძლებლობების ფართოდ გამოყენების საშუალებას, სხვადასხვა გამოთვლითი ამოცანებისათვის, ასევე მოცემული ობიექტის შეტანის შესაძლებლობას, ენერგოსისტემის ერთიან მოდელში.

საინფორმაციო-გამზომი პროგრამულ-ტექნიკური კომპლექსი განკუთვნილია ენერგობიექტების ავტომატიზირებული სისტემების შექმნისათვის. კომპლექსის შემადგენლობა შემდეგნაირია:

- მიერთების კონტროლერები;
- მრიცხველები;
- ელექტროენერგიის ხარისხის მაკონტროლებელი მოწყობილობა;
- კომუნიკაციური კონტროლერები;
- სერვერები და ოპერატორების სამუშაო ადგილები.

სისტემა სამდონიანია:

**ზედა დონე** – სერვერები დაცული შესრულებით.

**საშუალო დონე** – ობიექტის კომუნიკაციური კონტროლერები.

**ქვედა დონე** – მიერთების კონტროლერები, ელექტროენერგიის ხარისხის მაკონტროლებელი ხელსაწყო; ციფრული მულტი-ფუნქციური ელექტრომრიცხველი, მონაცემების მიმღებით.

საინფორმაციო-გამზომი პროგრამულ-ტექნიკური კომპლექსი იძლევა საშუალებას, ზუსტად მოხდეს სისტემის ყველა დონის და მოწყობილობის სინქრონიზაცია. საინფორმაციო-გამზომი პროგრამულ-ტექნიკური კომპლექსის მიერთების კონტროლერები, მრიცხველები და კომუნიკაციური კონტროლერები, მხარს უჭერენ **PRP (Parallel Redundancy Protocol** - პარალელური რეზერვირების

პროტოკოლი), რომელიც უზრუნველყოფს ქსელის ტოპოლოგიის "უწყვეტ" აღდგენას, მისი ერთ-ერთი ელემენტის დაზიანების შემთხვევაში (ქსელში მონაცემების გაცვლის შეფერხების შემთხვევაში, აღდგენის დრო უტოლდება ნულს). გადაწყვეტილება რეზერვირების აუცილებლობაზე, მეთოდზე და ქსელის არქიტექტურის რეზერვირებაზე, დამოკიდებულია ავტომატიზირებული სისტემის ტექნიკურ მოთხოვნებზე. საინფორმაციო-გამზომი პროგრამულ-ტექნიკური კომპლექსის საშუალო დონის კონტროლერები და ზედა დონის სერვერები, მხარს უჭერენ რეზერვირების რეჟიმში მუშაობას. რეზერვირება ხორციელდება ორი, ერთნაირი მოწყობილობის გამოყენებით, რომლებიც პარალელურად მუშაობენ და ურთიერთქმედებენ ერთმანეთთან, სპეციალური ალგორითმის მიხედვით.

საინფორმაციო-გამზომ პროგრამულ-ტექნიკურ კომპლექსს, აქვს მოწყობილობების ინტეგრირების ფართო შესაძლებლობები, სხვადასხვა ავტომატიზირებულ სისტემებში. ინტეგრაცია სრულდება კომუნიკაციური კონტროლერის დონეზე. პროგრამული უზრუნველყოფა მოიცავს პროტოკოლისაგან დამოუკიდებელ ბირთვს და ინდივიდუალური კომპონენტების (სერვერულის და სამომხმარებლოს) კომპლექტს, რომელიც რეალიზდება მონაცემების გაცვლით, სხვადასხვა პროტოკოლების მიხედვით. ჩაშენებული პარამეტრების ნიმუშების არსებობა, უფრო გავრცელებული მოწყობილობებისათვის, იძლევა საშუალებას, სწრაფ ტემპებში მოხდეს სისტემის ინტეგრირება და მისი ექსპლუატაციაში გაშვება.

ენერგობიექტების დაცვისა და ავტომატიზაციის სისტემის შექმნა, უნივერსალური პროგრამული მოდულების საფუძველზე მოითხოვს, ორი, ურთიერთგამომრიცხავი ამოცანის გადაჭრას: ერთის მხრივ საჭიროა ფუნქციონალური მოწყობილობების რაოდენობის გაზრდა, ხოლო მეორეს მხრივ – გადაწყვეტის მოქნილობისა და ოპტიმალური ფასის შენარჩუნება. ამას გარდა, სისტემის ავტომატიზაციის და დაცვის მნიშვნელოვნად გაზრდილი სირთულეების გათვალისწინებით, ენერგობიექტზე მომუშავე პერსონალი უნდა ფლობდეს სიღრმისეულ ცოდნას არა მხოლოდ ელექტროტექნიკის სფეროში, არამედ **IT (Information Technologies - საინფორმაციო ტექნოლოგიები)**-ების სფეროშიც.

ზემოაღნიშნული პრობლემების გადაჭრა შესაძლებელია აპარატურული



ნაწილისაგან დამოუკიდებელი, პროგრამული კომპლექსის საშუალებით, რომელიც ასრულებს დაცვის და მართვის ტექნიკურ ფუნქციებს. ამასთან ერთად, საჭიროა მოდულური არქიტექტურის პროგრამული უზრუნველყოფის შემუშავება: თითოეული მოდული – ერთი მინიმალური ფუნქციაა. აუცილებელი მოდულების ნაკრები შეიცავს არანაკლებ 7 კომპონენტს. ეს ნაკრები შესაძლებელია გაფართოვდეს, დამატებითი ლოგიკური სენსორებით.

ფაქტობრივად, ეს არის ვირტუალური რელეს ნაკრები, რომლისგანაც კომპლექტდება ფუნქციები, ხოლო ფუნქციებიდან – ტერმინალები, რომლებსაც შეუძლიათ განლაგდნენ, როგორც გამოყოფილ აპარატურულ პლატფორმებზე, ასევე ყველა ერთად, ენერგობიექტის დაცვისა და მართვის და ერთ სერვერში. ასეთი მოდულების სხვადასხვა ნაკრების დაყენებით მიიღება დაცვისა და ავტომატიზაციის სისტემის აგების ინსტრუმენტი, მოქნილობის და ეფექტურობის მაღალი ხარისხით.

ამ კონცეფციიდან გამომდინარე, არსებობს ორი, არსებითად არქიტექტურული გადაწყვეტილება: **პირველი** – ცენტრალიზებული. ყველა ტექნოლოგიური მოდული მოთავსებულია ერთ, მძლავრ სერვისულ სისტემაში, სასურველი სიმრავლის დუბლირებით. ეს ვარიანტი აშკარად იაფია, მოთხოვნილი აპარატურული უზრუნველყოფის მიხედვით, განთავსებისათვის ნაკლებ სივრცეს მოითხოვს და მნიშვნელოვნად ამარტივებს, ელექტროენერგეტიკული სისტემის, ავტომატიზირებული მოწყობილობების მართვას. თუმცა, ჩვეულებრივი სერვერების, აპარატურულ პლატფორმებად გამოყენებისას, საჭიროა სპეციალური სერვერის აგება, კლიმატ-კონტროლით. **მეორე** – მაქსიმალურად განაწილებული არქიტექტურა, როდესაც თითოეული ფუნქციური მოდული მოთავსებულია ცალკეულ მოწყობილობაში. სისტემის აგების ასეთ ვარიანტს აქვს მაღალი ხარისხის „სიცოცხლისუნარიანობა“. ყველაზე ეფექტურია ჰიბრიდული არქიტექტურა, სადაც ძირითადი ფუნქციები სრულდება ცენტრალიზებული მოწყობილობის მიერ, ხოლო ყველაზე საპასუხისმგებლო და კრიტიკული ფუნქციების რეზერვირება, ხორციელდება ასევე, ცალკეული მოწყობილობებით, მათ შორის ისეთებით, რომლებიც არ არის შექმნილი პროგრამული რეალიზაციის პრინციპებზე.

ამგვარად, ფიზიკური მოწყობილობების შემადგენლობების და მათი ფუნქციური შესაძლებლობების ვარიაციით, მარტივად მიიღება, სისტემის საიმედოობისა და ღირებულების ოპტიმალური მაჩვენებლები.

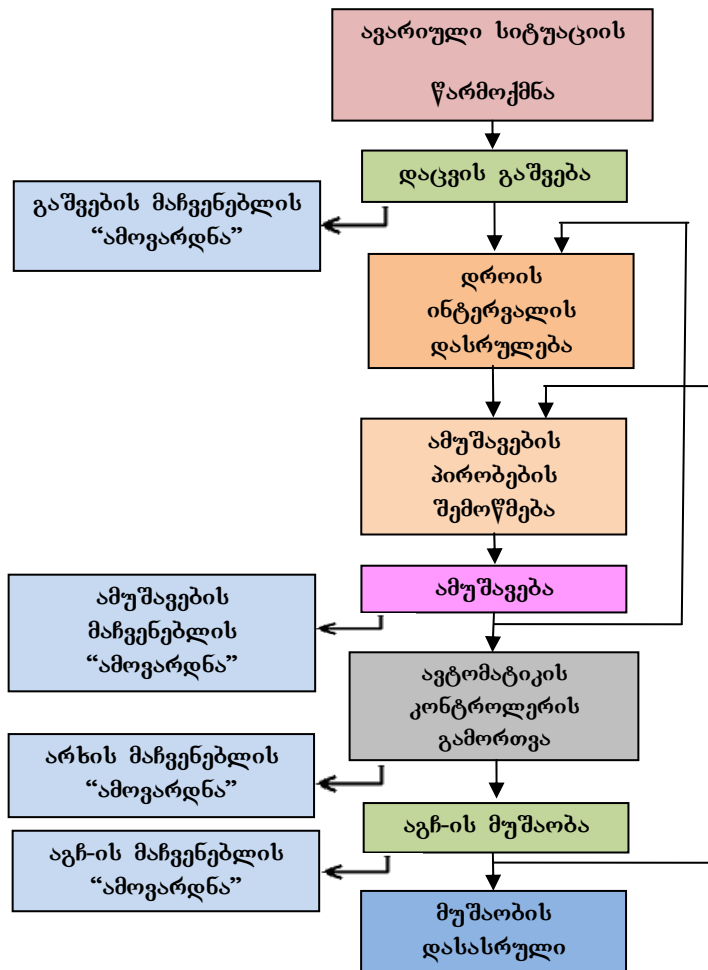
ფიზიკური მოწყობილობების და მათი ფუნქციური შესაძლებლობების ვარიაციებისთვის, საჭიროა შესაბამისი გათვლების გათვალისწინება. ერთის მხრივ, მოწყობილობებში ფუნქციების ცენტრალიზაციისას, ხდება მოწყობილობების რაოდენობის შემცირება, ხოლო მეორეს მხრივ – პროგრამული უზრუნველყოფის გართულება.

უსაფრთხოების მოდელი განკუთვნილია ენერგობიექტზე არსებული ავარიული სიტუაციების აღსაკვეთად. სახიფათო სიტუაციისას, მთავარ მიზანს წარმოადგენს – დაზიანებული ნაწილის გამორთვა, რათა მოხდეს დაზიანების ლოკალიზება. უსაფრთხოების მოდელის ჩამოყალიბება ხდება ავტომატურად, ენერგობიექტის სქემის ტოპოლოგიის ანალიზის საფუძველზე. ამასთან, იქმნება ენერგობიექტის სქემის, უსაფრთხოების სენსორების, უსაფრთხოების ზონების და ურთიერთბლოკირებების ჩანაწერები.

სიმულატორში უსაფრთხოების მოდელის აქტივიზირებისათვის, საკმარისია გრაფიკულ რედაქტორში ენერგობიექტის სქემის მომზადება. ავტომატურად ყალიბდება უსაფრთხოების მოწყობილობების კომპლექტი, რომელიც ახდენს ქსელის ელემენტების მდგომარეობის და რეჟიმის პარამეტრების მონიტორინგს. მისი ამოცანაა – აღმოაჩინოს დარღვევები, და გამორთოს დაზიანებული ნაწილი. კომპუტაციური გამომრთველების საშუალებით იქმნება უსაფრთხოების მოწყობილობების და ავტომატიზაციის ელემენტების წინასწარ შერჩეული კომპლექტი, რომელიც დამახასიათებელია, ამ კლასის მოწყობილობისათვის.

დაცვის მოწყობილობა გამოიყენება მაღალი ძაბვის იმპულსების, გადამაბვის ამპლიტუდის შეზღუდვისათვის. ელექტროენერგიის მაღალი სიხშირის საჰაერო გადამცემი ხაზების მოწყობილობის შესაბამის მახასიათებლებამდე. გადამაბვისგან დაცვის მოწყობილობის ძირითადი მახასიათებლებია – მაღალი დენების დამიწების უნარი, დაცვის მოწყობილობაზე ძაბვის შეზღუდვა და ამ ფუნქციების მოკლე დროში შესრულება.

დაცვისა და კოორდინაციის სისტემაში, გადაბზვისაგან დაცვა, ეფუძნება სამსაფეხუროვან კოორდინირებულ დაცვის ალგორითმს, რომელშიც ზედა დონის ალგორითმის მუშაობა განსაზღვრავს ქვედა დონეების ალგორითმების მუშაობას. დაცვის ალგორითმის ფუნქციონირება ნაჩვენებია სურ. 7-ზე.



სურ. 7. დაცვის ალგორითმი

მოწყობილობის დაცვის პროგრამულ კომპლექსში, დიფერენცირებულია მოკლე ჩართვის სახეობები: დაცვის, მიწისთვის განკუთვნილი, ფაზებს-შორისი და უნივერსალური დაცვის, განკუთვნილი ნებისმიერი სახეობის მოკლე ჩართვისათვის. ამას გარდა, დაცვის სისტემა ასრულებს ავტომატურ ოპერაციებს, კვების აღდგენის კუთხით. ამიტომ, გარდა დამცავი მოწყობილობებისა, პროგრამაში გათვალისწინებულია ავტომატიზირებული მოწყობილობა – ავტომატური ხაზის ჩართვით (ერთჯერადი) და სხვა წყაროდან, სარეზერვო კვების ავტომატური ამოქმედება.

დღევანდელ დღეს, კომპიუტერული ტექნიკის და კომუნიკაციური ტექნოლოგიების განვითარება, ამ ტექნოლოგიების შეღწევა ტექნიკის ყველა სფეროში, მათ შორის, ენერგობიექტების ავტომატიზაციაში, იწვევს ცვლილებებს არამხოლოდ ენერგობიექტების დაცვის სისტემების ტექნიკური საშუალებების მართვაში, არამედ ელექტროქსელური კომპლექსის აშენების წესებშიც, რადგან ხორციელდება გადასვლა, ინტელექტუალურ ენერგოსისტემაზე, რომელიც ეფუძნება აქტიურ-ადაპტურ ქსელს. ეს გარემოება უფრო სრულყოფილს ხდის, ენერგობიექტების მოწყობილობების დაცვასა და მართვას, ასევე, ენერგობიექტებს აყენებს ახალი გამოწვევების წინაშე. **ციფრული ქვესადგურის** ტექნოლოგიები იძლევა საშუალებას მოიხსნას შეზღუდვები და გამოყენებულ იქნას უფრო იაფი, მრავალ-პროცესორიანი კომპიუტერული პლატფორმები, რომლებიც დღესდღეისობით, გამოიყენება IT-ინფრასტრუქტურის და ზოგადად, სამრეწველო ავტომატიზაციის შექმნისათვის.

## დასკვნა

1. დადგენილია რომ ენერგობიექტის ელექტროდანადგარების და მოწყობილობების მდგომარეობის შესახებ დროული, სრული და ობიექტური მონაცემების მიღებისათვის, მიზანშეწონილია, პარამეტრების გაზომვის და მონაცემების დამუშავების ახალი მეთოდის და ახალი დიაგნოსტიკური აღჭურვილობის დანერგვა უკაბელო სენსორული ქსელის (**უსქ**) და პროგრამირებადი ლოგიკური მატრიცის (**პლმ**) გამოყენებით.
2. **უსქ**-ის კვანძებს შორის მონაცემების გაცვლისათვის, რომელიც წარმოებს კავშირის უკაბელო არხებით, გამოყენებულია **ZigBee**-ის პროტოკოლები. ეს პროტოკოლები წარმოადგენენ უკაბელო კავშირის რეალიზაციის შესაძლებლობას დაბალი ენერგომომხარებით, და გამოიყენება იმ სისტემებში, რომლებიც ასრულებენ მეთვალყურეობის ან/და მართვის ფუნქციებს.
3. ნაშრომში გამოყენებულია **უსქ**-ს შექმნის პროგრამული საშუალებაა – **Open MAC**-ი, სადაც გათვალისწინებულია **Peer-to-Peer** და ვარსკვლავური ტოპოლოგიების უკაბელო სენსორული ქსელების რეალიზაცია.

4. უსქ-ის პროექტში გათვალისწინებულია სენსორების (ტემპერატურის, ვიბრაციის, აკუსტიკური სიგნალების და დახრილობის) განთავსება მართვის ობიექტების შიგნით და მათ ირგვლივ. ისინი ქმნიან ქსელს, რომელიც ადეკვატური კომპიუტერული უზრუნველყოფის საშუალებით მონაცემებს გადასცემს მონიტორინგის სისტემას. სისტემაში მონაცემები ინახება მონაცემთა ბაზაში და წარმოადგენენ რესურს დიაგნოსტიკური მონაცემების სინთეზისათვის, ფაქტორული ანალიზის უზრუნველსაყოფად.
5. დიაგნოსტიკური ამოცანის შესრულების დროს, ფაქტორული ანალიზის გამოყენებით, გამომჟღავნდება ლატენტური ცვლადები, კონტროლის და მართვის ობიექტების ფუნქციონირებაში, და ჩამოყალიბდება ამ ობიექტების დიაგნოსტიკური მოდელი, რომელშიც აისახება ობიექტის უწყესივრობების ფარული ფაქტორული სტრუქტურა, რაც იძლევა პროგნოზირების საშუალებას. ასეთი, ახალი ტიპის ინტეგრირებული დიაგნოსტიკური სისტემა წარმოადგენს, პროგნოზირების და სწრაფი რეაგირების ახალ ინსტრუმენტს.
6. დადგენილია რომ პლმ-ის საშუალებით ენერგეტიკული ობიექტების დაცვის სისტემებში, უფრო ეფექტური ხდება ტექნიკური დიაგნოსტიკა, ვინაიდან ასეთი სისტემები უზრუნველყოფენ, დროულ და სრულ მონაცემებს, გამოსაკვლევე ობიექტის მდგომარეობის შესახებ.
7. შემუშავებული კომპლექსური მეთოდოლოგიის და ექსპრეს-დიაგნოსტიკების ერთობლივი გამოყენება უზრუნველყოფს ხარისხობრივად ახალ – სინერგეტიკულ ეფექტს, დიაგნოსტიკური მონაცემების სინთეზის და ენერგობიექტის დიაგნოსტიკური მოდელის შექმნის დროს.
8. შემუშავებულია ენერგობიექტის დიაგნოსტიკა ინტეგრალური პარამეტრების გამოყენებით, წინასწარ დადგენილ დროში, რომლის მეშვეობითაც ხორციელდება აღჭურვილობის დიაგნოსტიკური გამოკვლევა, ენერგობიექტის გათიშვის და რემონტზე გაყვანის გარეშე.
9. შემუშავებულია ალგორითმი, რომელიც უზრუნველყოფს დამუშავებული ლოკალური სისტემის ჩაშენებას და ადაპტაციას ზედა დონის მართვის ავტომატიზირებულ სისტემებში.

## გამოყენებული ლიტერატურა

1. გოგილიძე ე.რ., დადუნაშვილი ს.ა., ენერგობიექტების ტექნიკური დიაგნოსტიკა. - საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის, სტუდენტთა მე-80-ე საიუბილეო ღია საერთაშორისო კონფერენცია.
2. გოგილიძე ე.რ., დადუნაშვილი ს.ა., ენერგეტიკული ობიექტების სამეთვალყურეო მართვისა და მონაცემთა შეგროვების სისტემა. - საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის, სტუდენტთა 81-ე ღია საერთაშორისო კონფერენციის თეზისების კრებული, გვ. 54.
3. გოგილიძე ე.რ., დადუნაშვილი ს.ა., ენერგობიექტების მონიტორინგისა და მართვის ავტომატიზირებული სისტემები. - საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის, სტუდენტთა 82-ე ღია საერთაშორისო კონფერენცია.
4. დადუნაშვილი ს.ა., გოგილიძე ე.რ., უკაბელო სენსორული ქსელების ტექნოლოგიის თავისებურებანი. – „საქართველოს საინჟინრო სიახლენი“, No.1, 2013, გვ. 36-42.
5. დადუნაშვილი ს.ა., გოგილიძე ე.რ., კვეცაძე ვ.მ., სესაძე ვ.კ. ჩაშენებული კვანძები მონაცემთა შეგროვებისა და მართვის სისტემებისათვის. – „საქართველოს საინჟინრო სიახლენი“, No.2, 2013, გვ. 14-19.
6. დადუნაშვილი ს.ა., გოგილიძე ე.რ. ენერგობიექტების დაცვის სისტემების აგება მოდულური პრინციპის მიხედვით. – „საქართველოს საინჟინრო სიახლენი“, No.2, 2014, გვ. 58-65.

## Abstract

The current dissertation deals with using of wireless sensor networking (WSN) and programmable logic arrays (PLA) in protection systems of power producing facilities. A project has been designed that enables obtaining full timely and objective data about the running machinery implementing WSN and PLA with the measurement of selected parameters and new methods of data processing and modern diagnostic equipment.

WSN technology is employed for the control of power facilities, their processes and systems, and for identifying state of distant points.

Data transfer between nodes of WSN goes through wireless channels using ZigBee's protocol. This protocol allows wireless communication with lower power consumption and is used in the systems of surveillance and/or control.

According to the project, the nodes of wireless sensor networks are placed within and around the object to be controlled. They constitute a network and feed received data to the monitoring system. The data is stored in a database and represents a resource for synthesizing diagnostic data and for factorial analysis.

In a worked out system, during the execution of a diagnostic task with the use of built-in node and factorial analysis latent variables will be disclosed in the functioning of control object that will mirror hidden factorial structure of the object faults, which allows for predicting. Integrated diagnostic system of such a new type represents a new instrument for forecasting and rapid intervention.

The use of WSN in power facility protection systems will ease technical diagnosis. Technical diagnosis of power facilities are carried out for the purpose of determining technical condition of an object. Technical condition of a power facility is characterized by technical parameters at certain time and surrounding which are defined by the power object documentation.

Modern methods of diagnostic tools discussed in this study are based on complex diagnostic approach which allows for complete diagnostics without the need for the power facility to halt operating for the purpose of maintenance. In this project express diagnostics is diagnostics of a power facility using integral parameters in a set time.

Concurrent utilization of complex methodology and express diagnostics promotes synergic effects during the synthesis of diagnostic data and creation of the diagnostic model of the power facility. The diagnostic model is a formal description of an object which is essential for carrying out technical diagnostics.

The dissertation shows that implementation of the project using the new instruments – WSN and PLA in power facility protection systems will not only improve the quality of technical diagnostics but also decrease the cost of the system.