

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

მალხაზ ჯაბუა

**მაღალი წარმადობის SCADA სისტემა კრისტალური
სპექტრომეტრის მონიტორინგისა და მართვისათვის**

წარმოდგენილია დოქტორის აკადემიური ხარისხის მოსაპოვებლად

სადოქტორო პროგრამა „ინფორმატიკა“, შიფრი 0401

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

თბილისი, 0175, საქართველო

ივლისი, 2016 წელი

საავტორო უფლება © 2016 წელი, მალხაზ ჯაბუა

თბილისი

2016 წელი

სამუშაო შესრულებულია საქართველოს ტექნიკურ უნივერსიტეტსა და
გერმანიის იულიხის სამეცნიერო კვლევით ცენტრში

ინფორმატიკისა და მართვის სისტემების ფაკულტეტი

კომპიუტერული ინჟინერიის დეპარტამენტი

ხელმძღვანელი: პროფ. ლევან იმნაიშვილი

რეცენზენტები: პროფ. ნუგზარ ყავლაშვილი

პროფ. ბაადურ ჭუნაშვილი

დაცვა შედგება 2016 წლის 22 ივლისს, 16:00საათზე

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის ინფორმატიკისა და მართვის

სისტემების ფაკულტეტის სადისერტაციო საბჭოს კოლეგიის

სხდომაზე, კორპუსი IV, აუდიტორია 401

მისამართი: 0175, თბილისი, კოსტავას 77.

დისერტაციის გაცნობა შეიძლება სტუ-ს ბიბლიოთეკაში,

ხოლო ავტორეფერატისა - ფაკულტეტის ვებ გვერდზე

სადისერტაციო საბჭოს მდივანი პროფ. თინათინ კაიშაური

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

ინფორმატიკისა და მართვის სისტემების ფაკულტეტი

ჩვენ, ქვემოთ ხელისმომწერნი ვადასტურებთ, რომ გავეცანით მალხაზ ჯაბუას მიერ შესრულებულ სადოქტორო ნაშრომს დასახელებით: „მაღალწარმადული SCADA სისტემა კრისტალური სპექტრომეტრის მონიტორინგისა და მართვისათვის“ და ვაძლევთ რეკომენდაციას საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის ინფორმატიკისა და მართვის სისტემების ფაკულტეტის სადისერტაციო საბჭოში მის განხილვას დოქტორის აკადემიური ხარისხის მოსაპოვებლად.

თარიღი

ხელმძღვანელი: პროფ. ლევან იმნაიშვილი

რეცენზენტი:

რეცენზენტი:

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

2016

ავტორი: მალხაზ ჯაბუა

დასახელება: მაღალი წარმადობის SCADA სისტემა კრისტალური სპექტრომეტრის მონიტორინგისა და მართვისათვის „

ფაკულტეტი : ინფორმატიკისა და მართვის სისტემების

ხარისხი: დოქტორი

სხდომა ჩატარდა:

ინდივიდუალური პროფნებების ან ინსტიტუტების მიერ შემომოყვანილი დასახელების ნაშრომის 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

თანამედროვე რეალობაში სხვადასხვა ტიპის ფიზიკური, ქიმიური თუ ტექნოლოგიური პროცესების კომპლექსური კონტროლი და მართვა კომპიუტერული სისტემების გარეშე ფაქტიურად წარმოუდგენელია. კომპიუტერი აქტიურადაა ჩართული ამ პროცესების მსვლელობის თითქმის ყველა ეტაპზე. განსაკუთრებით უნდა აღინიშნოს განაწილებული კომპიუტერული სისტემების როლი და მნიშვნელობა, რომლის მაგალითია დისპეტჩერული მართვისა და მონიტორინგის SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition) სისტემა, რომელიც წარმოადგენს მოქნილ ინსტრუმენტს თანამედროვე საწარმოო თუ ტექნოლოგიური პროცესების სრული ავტომატიზებისათვის და მათი ეფექტური მართვის და მონიტორინგის შესაძლებლობას იძლევა.

ტექნოლოგიური პროცესის ოპტიმალური მიმდინარეობისთვის საჭიროა მისი მონიტორინგი და მართვა. მონიტორინგში იგულისხმება პროცესის მახასიათებელი ცალკეული პარამეტრების გაზომვა და მათზე დაკვირვება. ეს პარამეტრები რიცხვითი მნიშვნელობების თუ გრაფიკების/ჰისტოგრამების სახით შეიძლება აისახოს ოპერატორის/მომსახურე პერსონალის კომპიუტერში და პარალელურად, დროის გარკვეული ინტერვალით დოკუმენტირებულ იქნას მონაცემთა ბაზაში. ეს მიდგომა პროცესის მიმდინარეობის ეფექტური გაკონტროლების საშუალებას იძლევა. პრობლემების აღმოჩენის შემთხვევაში მონაცემთა ბაზაში დაგროვილი მონაცემები ამ პრობლემების გამომწვევი მიზეზების დადგენის უებარი საშუალებაა.

სამართავი პროცესის ოპტიმალური მსვლელობისთვის არ არის საკმარისი მხოლოდ მონიტორინგი, საჭიროა ასევე მართვა. მართვის დროს შეიძლება დარეგულირდეს ტექნოლოგიური პროცესის მთელი რიგი მახასიათებლები, ჩაერთოს/გამოერთოს პროცესში მონაწილე ცალკეული აპარატურა, მოხდეს პარამეტრების ოპტიმიზაცია, მიღებული მონაცემები შენახულ იქნას შემდგომი ანალიზისთვის, რათა მომხმარებელმა შეძლოს ტექნოლოგიური პროცესის მთლიანი ციკლის წარმოადგენა. აქვე უნდა ამუშავდეს მთელი რიგი მაკონტროლირებელი მექანიზმები, რათა შესაბამისი პარამეტრები არ გასცდნენ წინასწარ განსაზღვრულ ზღვრულ მნიშვნელობებს. გადაცდენის შემთხვევაში უნდა ჩაერთოს ხმოვანი სიგნალი, რომელიც მიაწინებს, რომ ადგილი აქვს საგანგებო სიტუაციას. ამ შემთხვევაში დისპეტჩერული მართვისა და მონიტორინგის სისტემა, მასში რეალიზებული ალგორითმის საშუალებით უზრუნველყოფს შესაბამისი პარამეტრების ნორმალიზებას, ხოლო თუ ეს შეუძლებელია მომსახურე პერსონალს მიაწინებს რომ თავად მიიღოს საჭირო გადაწყვეტილება, რათა პარამეტრები დაუბრუნდნენ ნომინალურ მნიშვნელობებს, წინააღმდეგ შემთხვევაში შეიძლება მოხდეს გაუთვალისწინებელი მოვლენა და პროცესის მსვლელობა დაირღვეს.

დისპეტჩერული მართვისა და მონიტორინგის SCADA სისტემები განვითარების ეტაპზეა. შემუშავებულია სხვადასხვა ზოგადი მეთოდები და

მოდელები, თუ როგორ უნდა დაპროექტდეს მაღალწარმადი, კონკრეტულ მოთხოვნებზე და საჭიროებებზე ორიენტირებული სისტემა. ასევე შემუშავებულია წარმადობის ამალღების სხვადასხვა მეთოდოლოგია, თუმცა კონკრეტული რეცეპტი თუ როგორ უნდა მოხდეს SCADA სისტემის ფუნქციონირების ოპტიმიზება დამოკიდებულია კონკრეტულად იმ ტექნოლოგიურ თუ სხვა ტიპის პროცესზე, რომლიც ავტომატიზება, მონიტორინგი და მართვა უნდა მოხდეს.

სადისერტაციო ნაშრომის მიზანს წარმოადგენდა მაღალწარმადი SCADA სისტემის დაპროექტება და რეალიზება გერმანიის იულიხის ცენტრში არსებული ზეგარჩევადი რენტგენული სპექტრომეტრისათვის. აღსანიშნავია, რომ მოცემულ ლაბორატორიულ დანადგარს გააჩნია უნიკალური უნარი, რენტგენის სხივების დეტექტირება და მათი მახასიათებელი ენერგიების გაზომვა უზრუნველყოს ზემადალი გარჩევადობით (მილიელექტრონვოლტის სიზუსტით). რენტგენის სხივები გენერირდებიან სპეციალურ რენტგენულ მილაკში და საკვლევ ობიექტზე (სხვადასხვა ქიმიური შენაერთები) ბომბარდირებისას წარმოქმნიან უშუალოდ მისთვის დამახასიათებელ ფლუორესცენციურ რენტგენის სხივებს შესაბამისი ენერგიებით, რომლებიც ბრეგის კვარცული კრისტალის ზედაპირიდან არეკვლისას ფოკუსირდებიან ნახევარგამტარულ სილიციუმის დეტექტორზე, სადაც ხდება მათი დეტექტირება.

აღსანიშნავია, რომ მოცემული ამოცანის შესრულება ზემოთხსენებული პირობებით მოითხოვს სპექტრომეტრის კრისტალის კუთხის, ასევე დეტექტორსა და კრისტალს შორის მანძილის დაფიქსირებას და მათ შენარჩუნებას მაქსიმალური შესაძლო სიზუსტით (კუთხე - 10 სეკუნდის სიზუსტით, მანძილი მილიმეტრის სიზუსტით), რაც თავის მხრივ შესაბამისი SCADA სისტემის გარეშე შეუძლებელია. მოცემული სადისერტაციო სამუშაოს ფარგლებში დამუშავდა და რეალიზებულ იქნა მაღალწარმადული SCADA სისტემა, რომელიც უშუალოდ მოერგო იულიხის რენტგენული სპექტრომეტრის მიერ წაყენებულ მოთხოვნებს და შესასრულებელ ამოცანებს. შედეგად მიღებულ იქნა პროგრამულ აპარატურული კომპლექსი, რომელიც გამოირჩევა მაღალი წარმადობით, სტაბილურობით და რომელიც სამართავი სპექტრომეტრის შესაძლებლობების მაქსიმალურად რეალიზების საშუალებას იძლევა.

იულიხის კვლევით ცენტრში მოცემული სადოქტორო სამუშაოს მსვლელობისას ჩატარებულმა ექსპერიმენტულმა გაზომვებმა დაადასტურა დაპროექტებული SCADA სისტემის მოქნილობა, მასში გამოყენებული საინჟინრო გადაწყვეტების ეფექტურობა და მიღებული სამეცნიერო შედეგების სისწორე. რენტგენული სპექტრომეტრით მანგანუმის ქიმიურ შენაერთებში გაზომილ იქნა რენტგენის სხივების ენერგიები ძალიან მაღალი სიზუსტით. მიღებული შედეგები უნიკალურია და გამოირჩევა ზემადალი სიზუსტით დღემდე არსებულ ექსპერიმენტულ მონაცემებში, რომლებიც დაგროვილია ამ სფეროში მოღვაწე სამეცნიერო ჯგუფების მიერ. სპექტრომეტრის მართვისა და მონიტორინგის SCADA სისტემაში შესაძლო დაყოვნებების რისკი მნიშვნელოვნად შემცირდა, რაც მიღწეულ იქნა

სპექტრომეტრში მიმდინარე პროცესების მონიტორინგის სწორი პოლიტიკის და სპექტრომეტრის კრისტალთან მუშაობის ინოვაციური ალგორითმის ხარჯზე.

Abstract

Nowadays control and monitoring of different types of physical, chemical or technological processes are impossible without computer systems. Computers are actively involved in every phase of the development of these processes. It is worth to note the growing role of the distributed computer systems, which example is the Supervisory Control And Data Acquisition system (SCADA). This system represents a very flexible and a pliable instrument for the complete automation of the technological or industrial processes and provides effective way for their monitoring and control.

Proper running cycle of the technological process requires a computerized monitoring and control. Monitoring means the measurement and observation of several parameters characterizing the process itself. These parameters can be displayed on a computer screen in numerical or analog (graphics, histograms) format and can be archived in a database at a regular time interval. This approach ensures the proper control of the running technological process. In case of failures the data saved in database makes possible to identify the reason which caused the inconveniencies.

Optimal run of the technological process requires not only the monitoring, but also its control. This foresees the regulation of the operating parameters of the process which has to be controlled, switching on and off the hardware resources, optimizing the parameters' set-up. This approach helps the personnel serving the system to have a proper imagination on the whole cycle of the technological process. Control also means the elaboration of the proper mechanism which has to guarantee that the operating parameters of the system don't exceed the thresholded values which are defined in advance. In case if this happens an alarm has to inform the user about the extraordinary and probably threatening situation. Firstly the SCADA system tries to normalize the operating parameters itself, if this is beyond its capabilities, then it alerts the user to make corresponding decisions. This mechanism is a preventive way to avoid the unforeseen situations and possible disrupt of the cycle of technological process.

Supervisory Control and Data Acquisition systems are on a developing stage. Several general models are drawn, instructing how to project the high-productive monitoring and control systems. Different approaches of enhancing the performance of this type of systems exist already, but, nevertheless, a specific recipe how to optimize the functioning of the SCADA systems depends particularly on the type of the process that has to be automatized, monitored and controlled.

The purpose of the research conducted in a frame of this dissertation was the projection and development of the highly productive SCADA system for the monitoring and control of the high-resolution crystal spectrometer at Jülich

scientific research centre in Germany. This spectrometer has a capability to detect the fluorescence X-rays by using the Charge Coupled Device (CCD) with high resolution and measure the corresponding energies at high precision (few millielectronvolts of accuracy). X-rays are generated from X-ray tube, which bombard the target compounds. During this process secondary, fluorescence X-rays are produced, which are reflected by Bragg crystal and then detected by the CCD semiconductor detector.

It is important to mention, that the solution of this challenging exercise would be impossible without using the appropriate high-productivity SCADA system, which has been projected in a frame of current PhD research work. This system ensures the high-precision setup of the spectrometer crystal angle, its vertical and horizontal positioning, the distance setup between the crystal and the detector (focal distance) and their maintenance at extremely high precision (for an angle maximum 10 seconds of arc of precision, for the focal distance tenth of millimeters). The monitored data are continuously archived for further analysis. The projected SCADA system was completely adapted to the requirements and demands of the Jülich crystal spectrometer and resulted in the high-level monitoring and control system, pronounced by its high productivity and stability which ensures that the capabilities of the crystal spectrometer are fully realized and effectively managed.

Experimental measurements done at Jülich research centre proved the flexibility and the high performance of the projected SCADA system, efficiency of the applied engineering decisions and the accuracy of the gained scientific results. Using this SCADA system adapted to the X-ray spectrometer set-up, X-ray energies from manganese chemical compounds have been measured at high precision. Through the modern algorithmic approaches and the appropriate monitoring and control politics, the risk of delays in a functionality of the projected SCADA system has been minimized.

შინაარსი

შესავალი	16
1.ლიტერატურის მიმოხილვა	23
1.1 დისპეტჩერული მართვისა და მონიტორინგის SCADA სისტემა	23
1.1.1 SCADA სისტემის ძირითადი სტრუქტურა.....	26
1.1.2 SCADA სისტემების ძირითადი ამოცანები	29
1.1.3 ძირითადი მოთხოვნები დისპეტჩერული მართვის სისტემების მიმართ.....	29
1.1.4 SCADA სისტემის გამოყენების სფეროები.....	35
1.1.5 დაშორებული ტერმინალი RTU – SCADA-ს საკვანძო კომპონენტი.....	36
1.1.6 SCADA სისტემაში გამოყენებული კავშირის არხები და მონაცემთა გადაცემის მეთოდების შედარებითი ანალიზი	40
1.1.7 SCADA სისტემის წარმადობა და მასზე მოქმედი ფაქტორები	47
2. შედეგები და მათი განსჯა.....	56
2.1 იულიხის კრისტალური სპექტრომეტრის მართვისა და მონიტორინგის SCADA სისტემის არქიტექტურა.....	56
2.1.1. ინტერფეისი RS-485.....	56
2.1.2 Modbus პროტოკოლი. მონაცემთა გადაცემის ორი რეჟიმი და მათი შედარებითი ანალიზი.....	59
2.1.3. Modbus RTU რეჟიმში მოწყობილობათა გამოკითხვის დროის გამოთვლა	63
2.1.4 პრიორიტეტის კონტროლის მექანიზმები დაყოვნების შესამცირებლად	75
2.1.5 SCADA სისტემის წარმადობის ამაღლება ელექტროქსელის პარამეტრების გამზომი მულტიფუნქციური ხელსაწყოთა მაგალითზე	81
2.1.6 იულიხის კრისტალური სპექტრომეტრი და მისი კომპონენტები	88
2.1.7 CCD ტიპის დეტექტორების დახასიათება	93
2.1.8 ხმკ ტიპის დეტექტორიდან მონაცემთა წაკითხვა ციფრული დროითი იმპულსებით.....	103
2.1.9 SCADA სისტემის გამოყენება იულიხის კრისტალური სპექტრომეტრის მართვისა და მონიტორინგისათვის	114
2.1.9.1 სპექტრომეტრის მართვისა და მონიტორინგის SCADA სისტემა Labview პლატფორმაზე	117
2.1.9.2 სპექტრომეტრის მართვა	122
2.1.9.2.1 კრისტალის კუთხის დაყენება	122

2.1.9.2.2 კრისტალის პოზიციონირება მაღალი სიზუსტით.....	131
2.1.9.2.3 კრისტალის მობრუნება საკუთარი ჰორიზონტალური ღერძის მიმართ.....	134
2.1.9.2.4 სპექტრომეტრის მკლავის კუთხის დაყენება	136
2.1.9.2.5 კრისტალსა და დეტექტორს შორის მანძილის (ფოკუსური მანძილი) რეგულირება	138
2.1.9.2.6 ბარიერული ამომრთველების მუშაობის პრინციპი.....	140
2.1.9.3 კრისტალური სპექტრომეტრის მონიტორინგი	142
2.1.9.3.1 ტემპერატურული გაზომვები	142
2.1.9.3.2 ვაკუუმის დონის მონიტორინგი.....	143
2.1.9.4 Labview Scada სისტემის FieldPoint აპარატურული ბლოკი კრისტალური სპექტრომეტრის კომპონენტების მართვისა და მონიტორინგისათვის	147
2.1.9.5 იულიხის სპექტრომეტრის მართვისა და მონიტორინგის Labview SCADA სისტემის სტაბილურობის შეფასება	156
დასკვნები.....	161
გამოყენებული ლიტერატურა	162

ცხრილების ნუსხა

ცხრილი 1. RS-485 ინტერფეისის ძირითადი პარამეტრები	57
ცხრილი 2. დეტექტორის სამუშაო ძაბვების ოპტიმალური მნიშვნელობები.....	102

ნახაზების ნუსხა

ნახ. 1. თანამედროვე SCADA სისტემის მარტივი მოდელი.....	24
ნახ. 2. კომპიუტერული სისტემების კლასიფიკაცია.....	25
ნახ. 3. SCADA სისტემის ძირითადი სტრუქტურული კომპონენტები	26
ნახ. 4. SCADA სისტემის ძირითადი ფუნქციონალური კომპონენტები	28
ნახ. 5. საწარმოო კომპიუტერი	37
ნახ. 6. პროგრამირებადი ლოგიკური კონტროლერი (PLC).....	38
ნახ. 7. მონაცემთა გადაცემის რეჟიმები	42
ნახ. 8. მონაცემთა მიმდევრობითი გადაცემა	44
ნახ. 9. შეტყობინების ფორმატი მონაცემთა სინქრონული გადაცემის დროს.....	45
ნახ. 10. შეტყობინების ფორმატი მონაცემთა ასინქრონული გადაცემის დროს ..	46
ნახ. 11. მონაცემთა სინქრონული გადაცემის სტრუქტურა	46
ნახ. 12. მონაცემთა დიფერენციალური გადაცემა	56
ნახ. 13. ხვეული წყვილის არქიტექტურა	58
ნახ. 14. Modbus პროტოკოლის საერთო კადრის სტრუქტურა	60
ნახ. 15. Modbus პროტოკოლით მონაცემთა გაცვლის დროითი დიაგრამა	60
ნახ. 16. Modbus RTU კადრის ფორმატი.....	61
ნახ. 17. Modbus ASCII კადრის ფორმატი	62
ნახ. 18. მთავარი და მიმყოლი მოწყობილობების კავშირის სქემა	63
ნახ. 19. მთავარი და მიმყოლი მოწყობილობების საკომუნიკაციო ციკლების სტრუქტურა	64
ნახ. 20. Modbus პროტოკოლში მოთხოვნა-პასუხის კადრის ფორმატი	64
ნახ. 21. Modbus პროტოკოლით მოწყობილობის მოთხოვნა-პასუხის დროითი დიაგრამა.....	65
ნახ. 22. Modbus სალტის ინფრასტრუქტურა RS-485 ინტერფეისზე.....	68
ნახ. 23. RS-485 ინტერფეისზე მოწყობილობათა ორგამტარიანი მიერთება	69
ნახ. 24. თანამედროვე წარმოებისთვის დამახასიათებელი ტიპური ქსელური ტოპოლოგია.....	73

ნახ. 25. წარმადობის ამაღლება ბრძანებებისთვის პრიორიტეტების მინიჭებით.....	76
ნახ. 26. ბრძანებების ფილტრაცია პრიორიტეტულობის მიხედვით.....	76
ნახ. 27. ბრძანებების ფილტრაცია საკომუნიკაციო პორტების მიხედვით	77
ნახ. 28. N14 მოწყობილობის ერთიდაიგივე რეგისტრიდან მონაცემთა ამოსაკითხად.....	84
ნახ. 29. N14 მოწყობილობის ერთიდაიგივე რეგისტრიდან მონაცემთა ამოსაკითხად.....	86
ნახ. 30. N14 მოწყობილობიდან მონაცემთა ამოკითხვის ალგორითმის ბლოკსქემა	87
ნახ. 31. სპექტრომეტრის სქემატური ნახაზი იოჰანის მოწყობაში	88
ნახ. 32. იულიხის კრისტალური სპექტრომეტრის გვერდხედი და ზედხედი ...	91
ნახ. 33. იულიხის კრისტალური სპექტრომეტრის ბრევის კრისტალი და მეტალის დიობი.....	92
ნახ. 34. იულიხის კრისტალური სპექტრომეტრის კვარცის კრისტალი	92
ნახ. 35. ხმკ/CCD დეტექტორის მუშაობის პრინციპი „ქოთნების წყობა“	94
ნახ. 36. სტანდარტული ხმკ დეტექტორის ტიპური სქემა.....	96
ნახ. 37. ხმკ-ის პიქსელური სტრუქტურა.....	96
ნახ. 38. რენტგენის სხივების ურთიერთქმედება ნივთიერებასთან.....	100
ნახ. 39. ხმკ-ს კვანტური ეფექტურობა	101
ნახ. 40. ტიპური ციფრული დროითი იმპულსები და სამუშაო ძაბვები ხმკ დეტექტორისთვის	102
ნახ. 41. მონაცემთა კადრის გადაცემის პრინციპით მომუშავე ტიპური სამფაზა დეტექტორის სქემა	104
ნახ. 42. გამოსახულების და შენახვის განყოფილებებთან სამუშაო იმპულსების სტრუქტურა	105
ნახ. 43. შენახვის განყოფილებიდან მონაცემთა ერთი სტრიქონის ამოსაკითხად საჭირო სიგნალები	106
ნახ. 44. ინდივიდუალური პიქსელის ამოსაკითხი ციფრული სიგნალები	107

ნახ. 45. ხმკ ტიპის დეტექტორის ვაკუუმური კრიოსტატის მოწყობილობა.....	109
ნახ. 46. ხმკ დეტექტორის ვაკუუმური კრიოსტატის სამგანზომიელებიანი ხედი.....	111
ნახ. 47. ხმკ დეტექტორის ვაკუუმური კრიოსტატის ხედები.....	112
ნახ. 48. ექვსი ხმკ-თი დაკომპლექტებული დეტექტორული სისტემა.....	113
ნახ. 49. იულიხის კვლევით ცენტრში არსებული კრისტალური სპექტრომეტრი და მისი ძირითადი კომპონენტები.....	118
ნახ. 50. სპექტრომეტრის რეგულირებადი პარამეტრები	118
ნახ. 51. კრისტალური სპექტრომეტრის მართვისა და მონიტორინგისათვის საჭირო აპარატურული უზრუნველყოფის კავშირის სქემა.....	120
ნახ. 52. იულიხის კრისტალური სპექტრომეტრის სამართავი პროგრამული ინტერფეისი	121
ნახ. 53. კრისტალის კუთხის დაყენების სეგმენტი სპექტრომეტრის სამართავი პროგრამული ინტერფეისიდან.....	122
ნახ. 54. NI-PCI-7334 კონტროლერის გამოსასვლელი სიგნალები ბიჯურ ძრავებთან სამუშაოდ	126
ნახ. 55. NI-UMI-7774 და NI-PCI-7334 დამაკავშირებელი სქემა	128
ნახ. 56. სპექტრომეტრის კრისტალის ხაზოვანი მაგიდა.....	129
ნახ. 57. Stepper-Endstufen აპარატურული კომპლექსი.....	131
ნახ. 58. პიეზო ელემენტის დამჭერი და კრისტალის ბიჯური ძრავი.....	132
ნახ. 59. კრისტალის სამაგრზე დამონტაჟებული ბიჯური ძრავი და წრფივი პოტენციომეტრი.....	134
ნახ. 60. Labview სისტემის პანელი, საიდანაც ხდება კრისტალის პოტენციომეტრზე მიწოდებული ძაბვის ცვლილება და შესაბამისად კრისტალის მოხრა	135
ნახ. 61. კრისტალური სპექტრომეტრის მკლავი.....	136
ნახ. 62. სპექტრომეტრის მკლავის კუთხის დაყენების სეგმენტი სპექტრომეტრის სამართავი პროგრამული ინტერფეისიდან.....	137

ნახ. 63. სპექტრომეტრის მკლავის ბიჯური ძრავი და ბარიერული ამომრთველი	138
ნახ. 64. ფოკუსური მანძილის დაყენების სეგმენტი სპექტრომეტრის სამართავი პროგრამული ინტერფეისიდან.....	139
ნახ. 65. დეტექტორული კრიოსტატი ბარიერული ამომრთველებით	140
ნახ. 66. კრისტალური სპექტრომეტრის დეტექტორული მაგიდა.....	140
ნახ. 67. ტევადური სიახლოვის სენსორი / ბარიერული ამომრთველი	141
ნახ. 68. ბარიერული ამომრთველის მოშობის პროცესი	142
ნახ. 69. FieldPoint აპარატურული ბლოკი სპექტრომეტრის კონტროლისა და მონიტორინგისათვის	148
ნახ. 70. Labview SCADA სისტემის ბლოკური დიაგრამა მონიტორინგის შედეგების არქივირებისათვის	154
ნახ. 71. მონიტორინგი შედეგების ამსახველი საარქივო ფაილი	155
ნახ. 72. მონაცემთა არქივირების პროგრამული პანელი.....	156
ნახ. 73. საკვლევი ობიექტის რენტგენული სპექტრის პიკური პოზიცია დეტექტორის მგრძნობიარე ზედაპირზე.....	157

შესავალი

სამუშაოს აქტუალობა. დღეისათვის სხვადასხვა სახის ტექნოლოგიური თუ საწარმოო პროცესების ეფექტური წარმართვა შეუძლებელია მომსახურე კომპიუტერული სისტემების გარეშე. დისპეტჩერული მართვისა და მონიტორინგის სისტემა SCADA (Supervisory Control And Data Acquisition) დღესდღეობით წარმოადგენს რთული დინამიური პროცესების მართვის ყველაზე ეფექტურ და პერსპექტიულ საშუალებას. სწორედ დისპეტჩერული მართვის პრინციპებზე იგება მსხვილი ავტომატიზირებული სისტემები და საწარმოები ენერგეტიკაში, მანქანათმშენებლობაში და მრავალ სხვა სფეროში, სხვადასხვა ტიპის კვლევითი თუ გამოყენებითი პროცესების სამართავად. SCADA სისტემები გამოიყენება უსაფრთხოებისა და საიმედობის მხრივ ყველაზე კრიტიკულ და სასიცოცხლო მნიშვნელობის სფეროებშიც.

SCADA არის დროის რეალურ რეჟიმში დაშორებული წერტილიდან ინფორმაციის ამოკითხვის პროცესი დამუშავების, ანალიზისა და ობიექტის/პროცესის მართვის მიზნით.

SCADA სისტემა არ გულისხმობს რომ აუცილებლად უნდა მოხდეს ტექნოლოგიური პროცესის მართვა. ამ სისტემის მეშვეობით შესაძლებელია მხოლოდ მონიტორინგის განხორციელება. მაგალითად, SCADA სისტემას შეიძლება დაეკისროს ტექნოლოგიური პროცესის მახასიათებელი პარამეტრების მონიტორინგი და არავითარ მართვას არ ჰქონდეს ადგილი. აქ შეიძლება იყოს ტემპერატურული მონიტორინგი, ვაკუუმის დონის მონიტორინგი და ა. შ.

SCADA სისტემა არ არის ჩვეულებრივი კომპიუტერული ქსელი. ეს არის ე.წ. განაწილებული კომპიუტერული სისტემა (DCS - Distributed Control System). სისტემის შემადგენელი სამართავი ობიექტები არ არიან მოთავსებულნი ერთ კონკრეტულ ადგილას, არამედ გაშლილნი არიან სივრცეში და მათ შორის კავშირი ხორციელდება დისტანციურად.

ჩვეულებრივი კომპიუტერული ქსელისაგან განსხვავებით მოწყობილობები და კონტროლერები ამ დროს დაკავშირებულნი არიან საკომუნიკაციო სისტემებით.

დღესდღეობით ტექნოლოგიების განვითარების გამო თანდათან იშლება საზღვრები ჩვეულებრივ კომპიუტერულ ქსელებსა და განაწილებულ კომპიუტერულ სისტემებს შორის.

თანამედროვე სისტემებში მართვის პროცესს გააჩნია თავისებურებები: SCADA გამოიყენება ისეთ სისტემებში, სადაც აუცილებელია ადამიანის არსებობა; პროცესი SCADA დამუშავებული იქნა ისეთი სისტემებისათვის, სადაც ნებისმიერმა არასწორმა ზემოქმედებამ შეიძლება გამოიწვიოს მართვის ობიექტის მტყუნება (დაკარგვა) ან სულაც კატასტროფული შედეგი. ასეთი სისტემა ისეთნაირად უნდა აიგოს, რომ მომსახურე პერსონალის/ოპერატორის ერთჯერადი შეცდომა არ აისახოს მთლიანი სისტემის ფუნქციონირებაზე, ანუ SCADA სისტემა მაქსიმალურად გამორიცხავს ოპერატორის დაუდევრობით გამოწვეულ შეცდომებს. ნორმალურ პირობებში სისტემა ზოგჯერ მოითხოვს პარამეტრების დაყენებას ოპტიმალური მწარმოებლურობის მისაღწევად; მართვის პროცესში ოპერატორის ჩარევა ხდება იშვიათად და დროის არაპროგნოზირებად მომენტებში, როცა წარმოიქმნება კრიტიკული მოვლენები (მტყუნებები, არასაშტატო სიტუაციები და ა.შ.). კრიტიკულ სიტუაციებში ოპერატორის ქმედებები შესაძლოა მკაცრად იყოს შეზღუდული დროის მიხედვით (რამოდენიმე წუთით ან თუნდაც წამით).

აღსანიშნავია, რომ SCADA სისტემებში ცენტრალური ადგილი უჭირავს ადამიან-ოპერატორს და მის ამოცანებს. ამიტომ აუცილებელია, რომ სამომხმარებლო ინტერფეისი ადამიან-ოპერატორსა და სისტემას შორის აკმაყოფილებდეს ერგონომიკის ყველა მოთხოვნას. სამომხმარებლო ინტერფეისზე ასახული ინფორმაცია, ყველანაირი პირობითი აღნიშვნა უნდა იყოს წარმოდგენილი ადამიანისათვის გასაგებ ფორმაში.

SCADA სისტემები წყვეტენ შემდეგ ამოცანებს:

- მონაცემთა გაცვლა საწარმოო კონტროლერებსა და შეყვანა/გამოყვანის პლატებთან დროის რეალურ რეჟიმში დრაივერების მეშვეობით;
- ინფორმაციის დამუშავება რეალური დროის რეჟიმში;
- ინფორმაციის ასახვა მონიტორზე ადამიანისათვის გასაგებ ფორმაში;
- მონაცემთა არქივირება დროის რეალურ რეჟიმში;
- ავარიული სიგნალიზაცია და საგანგაშო შეტყობინებების მართვა;
- ანგარიშების მომზადება ტექნოლოგიური პროცესის მიმდინარეობის შესახებ;
- ქსელური ურთიერთკავშირის დამყარება პერსონალურ კომპიუტერთან;
- კავშირი შიდა გამოყენებით პროცესებთან (მონაცემთა ბაზა, ელექტრონული ცხრილები და ა.შ.).

SCADA სისტემების მეშვეობით შესაძლებელია ტექნოლოგიური პროცესების მართვის ავტომატიზირებული სისტემების დამუშავება კლიენტ-სერვერული ან განაწილებული არქიტექტურით.

წარმოდგენილი ნაშრომის **კვლევის მიზანს** წარმოადგენს SCADA სისტემის საშუალებით გერმანიის იულიხის კვლევით ცენტრში არსებული რენტგენული სპექტრომეტრის მონიტორინგი და მართვა, მანგანუმის ქიმიურ შენაერთებში რენტგენული სხივების ენერგიების ზემოდადანი სიზუსტით (10-20 მილიელექტრონვოლტი) გასაზომად. ეს თავის მხრივ გულისხმობს მაღალწარმადი და საიმედო SCADA სისტემის დაპროექტების კონკრეტული მიდგომების, მეთოდების დამუშავებას, ასევე სპექტრომეტრის მართვის და ავტომატიზების ეფექტური ალგორითმების შემუშავებას სასურველი ექსპერიმენტული შედეგების მისაღებად. იულიხის კვლევით ცენტრში არსებული რენტგენული სპექტრომეტრით შესრულებული სამუშაო წარმოადგენს ექსპერიმენტული გაზომვების სერიას, რომლის დროს მანგანუმის სხვადასხვა შენაერთში წარმოქმნილი ფლოორესცენციური რენტგენის სხივების არეკვლა ხდება სპექტრომეტრის

კვარცული კრისტალიდან, რის შედეგადაც ისინი პოზიციონირდებიან ნახევარგამტარულ დეტექტორზე, რომელიც მგრძობიარეა რენტგენის სხივების მიმართ და მათი ენერგიების გამოთვლის საშუალებას იძლევა.

პროცესის სპეციფიკიდან გამომდინარე მოცემული ამოცანის შესრულება შესაბამისი დონის SCADA სისტემის გარეშე შეუძლებელია. სადისერტაციო ნაშრომში დასახული მიზნის მიღწევისათვის გადაწყვეტილია შემდეგი ამოცანები:

- შემუშავებულია SCADA სისტემის მაღალწარმადობის შეფასების კრიტერიუმები, რომლებიც მისადაგებულია იულიხის რენტგენული სპექტრომეტრის მოთხოვნილებებთან.
- დამუშავებულია სპექტრომეტრის ცალკეული კომპონენტების მართვის მოქნილი ალგორითმები, რომლებიც უზრუნველყოფენ ამ კომპონენტების და საერთო ჯამში სპექტრომეტრის შესაძლებლობების სრულ გამოყენებას და იმ შედეგების მიღწევას, რაც გულისხმობს რენტგენის სხივების ენერგიების ზემადალი სიზუსტით განსაზღვრას.
- ექსპერიმენტულად გამოკვლეულია სპექტრომეტრის მომსახურე SCADA სისტემის წარმადობის დამაბრკოლებელი ფაქტორები და დამუშავებულია აპარატურულ-პროგრამული უზრუნველყოფები სისტემის ფუნქციონირების ეფექტურობის ასამაღლებლად.

კვლევის ობიექტი და მეთოდები. კვლევის ობიექტს წარმოადგენს ერთის მხრივ სპექტრომეტრის მომსახურე მაღალწარმადული SCADA სისტემის არქიტექტურა, რომელიც დაგეგმარდა და რეალიზდა სპეციალურად იულიხის რენტგენული სპექტრომეტრის კომპიუტერული მონიტორინგისა და მართვისათვის, მაღალი წარმადობის განმსაზღვრელი ფაქტორების კვლევა და მათი პრაქტიკული იმპლემენტაციის საკითხები, ხოლო მეორეს მხრივ, მოცემული სპექტრომეტრით შესასრულებელი ექსპერიმენტული გაზომვები, რომელთა მიზანია მანგანუმის სხვადასხვა

ქიმიური შენაერთისათვის დამახასიათებელი რენტგენული სპექტრების მიღება და შესაბამისი ენერგიების ზემოდალი სიზუსტით განსაზღვრა, რაც თავის მხრივ ეფექტურად ფუნქციონირებადი SCADA სისტემის გარეშე არ მიიღწევა. კვლევითი სამუშაოს ფარგლებში მუშაობა მიმდინარეობდა სპექტრომეტრის აპარატურულ კომპონენტებთან სამუშაო დახვეწილ პროგრამულ ალგორითმებზე, რომლებმაც უნდა უზრუნველყონ რენტგენის სხივების ზეზუსტი და სტაბილურად უცვლელი კუთხით პოზიციონირება ნახევარგამტარული დეტექტორის მგრძობიარე ზედაპირზე, რაც მათი ენერგიების ზეზუსტი განსაზღვრისთვის აუცილებელია. სამუშაოში გამოყენებულია ერგონომიკის, ალგორითმების თეორიის, დეტექტორული სისტემების, კრისტალოგრაფიის თანამედროვე მეოდები და კონცეფციები.

სამუშაოს სამეცნიერო სიახლეს წარმოადგენს სისტემური ანალიზის და იულიხის რენტგენული სპექტრომეტრით ჩასატარებელი ექსპერიმენტული მოთხოვნების საფუძველზე მაღალწარმადი SCADA სისტემის არქიტექტურის და სპექტრომეტრის ცალკეულ კომპონენტებთან სამუშაო ალგორითმების დამუშავება. ასევე სიახლეს წარმოადგენს ქიმიურ შენაერთებში რენტგენული სხივების ზემოდალი სიზუსტით გაზომვის შემუშავებული მეთოდი, რაც უნიკალურია და გამოირჩევა ამ სფეროში მომუშავე სამეცნიერო ჯგუფების მიერ ჩატარებული ექსპერიმენტული გაზომვების შედეგებისაგან. სამუშაოში მიღწეულია შემდეგი პრაქტიკული შედეგები:

- დამუშავებულია იულიხის რენტგენული სპექტრომეტრის მართვისა და მონიტორინგის SCADA სისტემის არქიტექტურა.
- დამუშავებულია მომსახურე SCADA სისტემაში წარმადობის ამაღლების მეთოდი.
- დამუშავებულია რენტგენული სპექტრომეტრის ცალკეულ კომპონენტებთან სამუშაო ალგორითმები და მათი მართვისა და მონიტორინგის პოლიტიკა.

- დამუშავებულია გაზომილი რენტგენული სპექტრის გაანალიზების და ექსპერიმენტისათვის მნიშვნელოვანი რენტგენის სხივების ენერგიების განსაზღვრის მეთოდოლოგია.
- მიღწეულია რენტგენის სხივების ენერგიების განსაზღვრის ზემადალი სიზუსტე, რაც წარმოადგენს პრეცედენტს (10-20 მილიელექტრონვოლტი).

სამუშაოს თეორიული და პრაქტიკული მნიშვნელობა. სამუშაოს თეორიული მნიშვნელობა მდგომარეობს SCADA სისტემების დაპროექტების მეთოდების განვითარებაში, რომლების საშუალებას იძლევიან ამაღლდეს ამ სისტემების წარმადობა, რაც მნიშვნელოვანი პარამეტრია ტექნოლოგიური პროცესების ეფექტური მართვისა და მონიტორინგისათვის. დაპროექტებული SCADA სისტემის საშუალებით იულიხის კვლევით ცენტრში არსებული რენტგენული სპექტრომეტრით გაზომილი რენტგენული სპექტრების ანალიზის შემუშავებული მეთოდოლოგია საშუალებას იძლევა რენტგენული სხივების ენერგიები გაზომილ იქნეს ზემადალი სიზუსტით. აღსანიშნავია, რომ მანგანუმის შენაერთების კვლევის შედეგები საინტერესოა მეცნიერთა ფართო წრისთვის, რამეთუ აქამდე მისი K_{α} რენტგენული გამოსხივების დეტალური შესწავლა და ასეთი სიზუსტით გაზომვა არ მომხდარა.

სადოქტორო სამუშაოს ფარგლებში ჩატარებული კვლევითი სამუშაოების შედეგად მიღწეულია SCADA სისტემის პროგრამულ-აპარატურული სისტემის რეალიზაცია რენტგენის სხივების მაღალი სიზუსტით დასაფიქსირებლად და გასაზომად. რენტგენული სპექტროსკოპია ძალიან მნიშვნელოვანი მეთოდია როგორც ადამიანის ორგანიზმის შესასწავლად, ასევე სხვადასხვა ნივთიერებების იდენტიფიცირებისა და კვლევისთვის. ჩატარებული პრაქტიკული კვლევები და მიღებული შედეგები იძლევა დაპროექტებული სისტემის ფართოდ დანერგვის და სხვადასხვა კვლევით ცენტრებში მისი ადაპტაციის დიდ პერსპექტივას. ასევე საინტერესო მიმართულებაა მედიცინის სფეროში

და მასალათმცოდნეობაში. ჩატარებული გაზომვების დიდი უპირატესობაა მაღალი, ულტრაზღვრული სიზუსტე, რაც იშვიათობას წარმოადგენს თანამედროვე ექსპერიმენტებში, რადგან გაზომვების შემუშავებული მეთოდი უნიკალურია და პრაქტიკული ექსპერიმენტებით არის დადასტურებული მისი ეფექტურობა.

დისერტაციის შედეგები რეალიზებულია:

- გერმანიის იულიხის სამეცნიერო-კვლევითი ცენტრის ბირთვული კვლევების ინსტიტუტის (IKP-2) მიერ კრისტალურ სპექტრომეტრზე შესრულებული ექსპერიმენტული გაზომვების ფარგლებში (2014-2016 წწ);
- შოთა რუსთაველის ეროვნული სამეცნიერო ფონდის და იულიხის კვლევითი ცენტრის ერთობლივი კვლევით-საგანმანათლებლო საგრანტო პროექტი #09/27 „ტექნოლოგიურ და ექსპერიმენტული კვლევის დანადგარებში ფიზიკური პროცესების კომპიუტერული მონიტორინგი და მართვა“;

სამუშაოს აპრობაცია: დისერტაციასთან დაკავშირებული საკითხები ასახულია 3 სამეცნიერო პუბლიკაციაში და განხილულია შემდეგ საერთაშორისო სამეცნიერო კონფერენციებზე:

- სტუდენტთა 82-ე ღია სამეცნიერო კონფერენცია, თბილისი, 2014 წელი.
- Georgian-German school and workshop in basic science, Tbilisi, 2012.
- Georgian-German school and workshop in basic science, Tbilisi, 2014.
- Deutsche Physikalische Gesellschaft, Heidelberg, Germany, 2015.
- Colloquium Spectroscopicum Internationale, Coimbra, Portugal, 2015.
- Deutsche Physikalische Gesellschaft, Hannover, Germany, 2016.

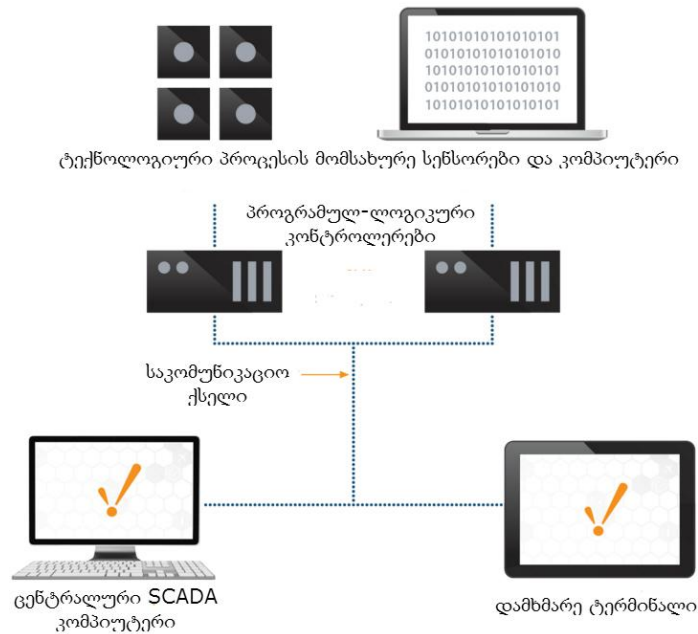
1.ლიტერატურის მიმოხილვა

1.1 დისპეტჩერული მართვისა და მონიტორინგის SCADA სისტემა

დისპეტჩერული მართვისა და მონიტორინგის სისტემა SCADA (Supervisory Control And Data Acquisition) წარმოადგენს დინამიური პროცესების მართვის ყველაზე მოქნილ საშუალებას. ეს სისტემა გამოიყენება სხვადასხვა სახეობის ტექნოლოგიური თუ ინდუსტრიული პროცესების და მათში მონაწილე მოწყობილობების მართვისა და მონიტორინგისათვის [1]. საშედეგო მონაცემები გადაეცემა საკომუნიკაციო ქსელში და საბოლოო ჯამში თავს იყრის ცენტრალურ SCADA სამუშაო სადგურზე, სადაც ხდება მისი დამუშავება და ანალიზი. SCADA სისტემები შეიძლება იყოს მარტივი ან რთული სახის, მხოლოდ ლაბორატორიული მასშტაბის ან აერთიანებდეს დიდ მანძილზე გაშლილ კომპიუტერულ სისტემებს, მაგრამ თავისი არსიდან გამომდინარე ის ყოველთვის ასრულებს მასზე დაკისებულ ძირეულ ფუნქციას, სამართავი პროცესის დაკვირვების შედეგები ლოგიკურად ორგანიზებული ფორმით გამოიტანოს ეკრანზე და მათი ანალიზის შედეგები პერმანენტულ რეჟიმში მიაწოდოს მეთვალყურე ოპერატორს. ნახ.1-ზე წარმოდგენილია თანამედროვე SCADA სისტემის ბაზისური მოდელი.

SCADA არის დროის რეალურ რეჟიმში დაშორებული წერტილიდან ინფორმაციის ამოკითხვის პროცესი დამუშავების, ანალიზისა და დაშორებული ობიექტის მართვის მიზნით.

ტრადიციულად, SCADA სისტემა არ გულისხმობდა რეალურ დროში მართვას. თუმცა დღესდღეობით ტექნოლოგიების განვითარებამ შესაძლებელი გახადა მართვა რეალური დროის რეჟიმში. ამ დროს დისპეტჩერს (ამ შემთხვევაში ოპერატორს) გაცილებით მეტი დრო რჩება გადაწყვეტილებების მისაღებად ამა თუ იმ ობიექტზე მართვის მიზნით ზემოქმედებისათვის.



ნახ. 1. თანამედროვე SCADA სისტემის მარტივი მოდელი

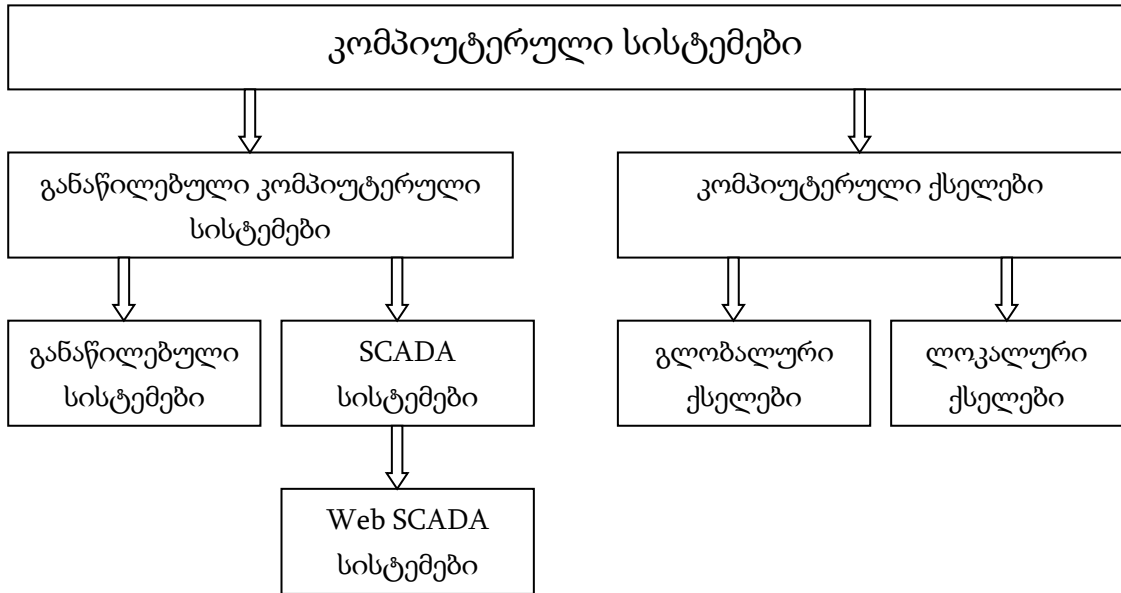
რეალურ დროში მუშაობაზე მოთხოვნა ასევე განპირობებულია ოპერატორის (დისპეტჩერის) ცენტრალურ ინტერფეისზე ყველა საჭირო მონაცემისა და მოვლენის დაფიქსირების აუცილებლობით.

SCADA სისტემების ისტორია დაიწყო გასული საუკუნის 60–70–იან წლებში. ამ დროს არ იყო ტექნოლოგიების განვითარების ისეთი დონე, როგორც გვაქვს დღეს, თუმცა მაინც არსებობდა დაშორებული ობიექტების მონიტორინგისა და მართვის ამოცანები.

დღესდღეობით SCADA სისტემებში არის დიდი მრავალფეროვნება, არ არის მკაცრი სტანდარტიზაცია. დიდ ფორმებს გააჩნიათ თავიანთი შეხედულებები ამ სისტემებზე.

ტერმინს „SCADA“ გააჩნია ორაზროვანი მნიშვნელობა. ფართოდაა გავრცელებული მოსაზრება, რომ SCADA არის გამოყენებითი მუდული, ანუ პროგრამული კომპლექსი ინსტრუმენტული საშუალებებით, რომელიც უზრუნველყოფს მითითებული ფუნქციების შესრულებას. თუმცა ხშირად ტერმინში „SCADA“ გულისხმობენ პროგრამულ–აპარატურულ კომპლექსს [2,3].

SCADA სისტემა მიეკუთვნება განაწილებულ კომპიუტერულ სისტემას (DCS - Distributed Control System). ზოგადად, კომპიუტერული სისტემები იყოფა ორ ნაწილად. ეს არის განაწილებული კომპიუტერული სისტემები და კომპიუტერული ქსელები (ნახ. 2).



ნახ. 2. კომპიუტერული სისტემების კლასიფიკაცია

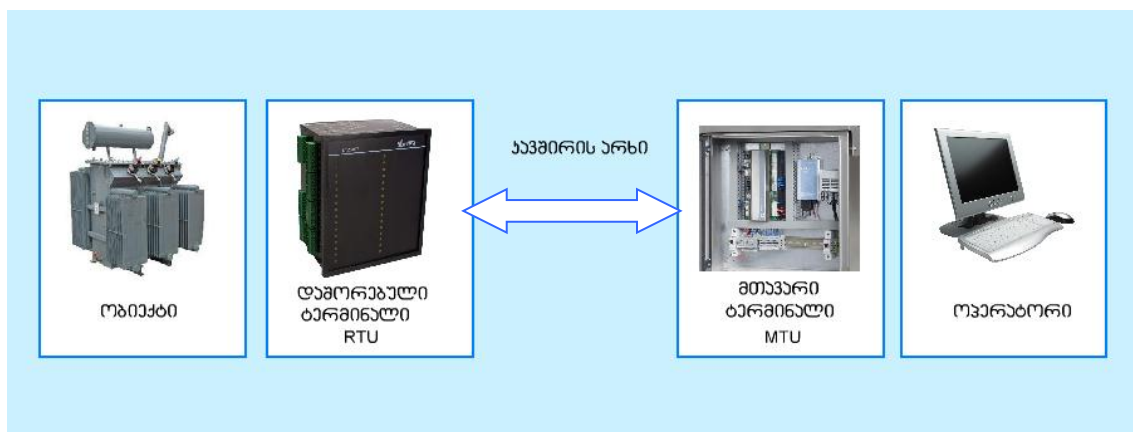
განსხვავება ჩვეულებრივ კომპიუტერულ ქსელსა და განაწილებულ კომპიუტერულ სისტემას შორის არის მნიშვნელოვანი. განაწილებული კომპიუტერული სისტემა არის სამრეწველო სისტემა, რომელსაც აქვს სარეწველო გამოყენების არეალი. ეს სისტემა გამიზნულია საყოფაცხოვრებო ფირმებისათვის. განაწილებული კომპიუტერული სისტემის მაგალითია ბანკომატი და საბანკო სერვერი. ბანკომატს არ შეუძლია ფუნქციონირება სერვერის გარეშე, ხოლო ბანკომატის გარეშე სერვერის არსებობას აზრი არ აქვს. ჩვეულებრივ კომპიუტერულ ქსელში კი შეიძლება გამორთული იყოს ერთი, ან რამოდენიმე კომპიუტერი და ქსელი მაინც ფუნქციონირებდეს. მაგალითის სახით შესაძლოა განხილულ იქნეს განაწილებული კომპიუტერული სისტემა, რომელიც მართავს დიდ ტერიტორიაზე გაშლილ საწარმოო პროცესს. ამ დროს წარმოიშვება საკმაოდ მნიშვნელოვანი ამოცანები, როგორცაა მთლიანი პროცესის მართვა ერთი ცენტრიდან,

საწარმოო ციკლის მდგომარეობის კონტროლი ცალკეულ პუნქტებზე მთლიანი, საშუალოდ სადგურების მართვა და ა. შ.

დღესდღეობით ტექნოლოგიების განვითარების გამო თანდათან იშლება საზღვრები ჩვეულებრივ კომპიუტერულ ქსელებსა და განაწილებულ კომპიუტერულ სისტემებს შორის [4]. ეს ორი დანაყოფი თანდათან ახლოვდება და უახლოეს წლებში მოსალოდნელია მათი შერწყმა ერთმანეთთან.

1.1.1 SCADA სისტემის ძირითადი სტრუქტურა

ყველა თანამედროვე SCADA სისტემა შეიცავს სამ ძირითად სტრუქტურულ კომპონენტს (ნახ. 3):



ნახ. 3. SCADA სისტემის ძირითადი სტრუქტურული კომპონენტები

Remote Terminal Unit (RTU) - დაშორებული ტერმინალი, რომელიც ანხორციელებს ამოცანების დამუშავებას (მართვას) დროის რეალურ რეჟიმში. დაშორებული ტერმინალის რეალიზაციის სპექტრი ფართოა, მონაცემთა მარტივი მიმღებებიდან დაწყებული, რომლებიც ანხორციელებენ მონაცემთა ამოკითხვას დაშორებული ობიექტიდან, მრავალპროცესორული სპეციალიზირებული გამომთვლელი კომპლექსებით დამთავრებული, რომლებიც მუშაობენ მკაცრად განსაზღვრულ რეალური დროის რეჟიმში. დაშორებული ტერმინალის

კონკრეტული რეალიზაცია განპირობებულია მისი კონკრეტული გამოყენებით [1].

Master Terminal Unit (MTU) - მართვის დისპეტჩერული პუნქტი ანუ მთავარი ტერმინალი, რომელიც ანხორციელებს მაღალი დონის მართვასა და მონაცემთა დამუშავებას „რბილი“ რეალური დროის რეჟიმში [2,3]. მთავარი ტერმინალის ერთ-ერთი ძირითადი ფუნქციაა სამომხმარებლო ინტერფეისის შექმნა ადამიან-ოპერატორსა და სისტემას შორის. კონკრეტული სისტემიდან გამომდინარე MTU შეიძლება რეალიზებული იყოს როგორც ერთ კომპიუტერზე, რომელსაც გააჩნია კავშირის არხებთან მიერთების დამატებითი მოწყობილობები, ასევე დიდ გამომთვლელ კომპლექსებზე (მეინფრეიმებზე) და ლოკალურ ქსელში გაერთიანებულ რამოდენიმე კომპიუტერსა და სერვერზე.

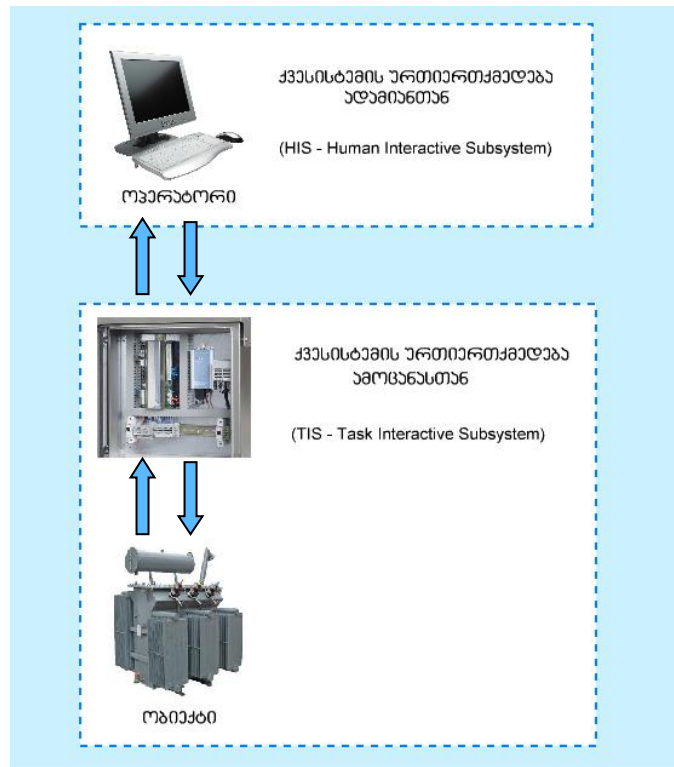
Communication System (CS) - კომუნიკაციური სისტემა (კავშირის არხი), რომელიც აუცილებელია დაშორებული ობიექტებიდან მონაცემთა მიღებისათვის და მართვის სიგნალების გადაცემისათვის.

დისპეტჩერი ზეგავლენას ახდენს მთავარ ტერმინალზე (MTU). ეს ზეგავლენა კავშირის არხის მეშვეობით გადაეცემა დაშორებულ ობიექტს (RTU), რომელიც უშუალოდ მოქმედებს მართვის ობიექტზე [3].

SCADA სისტემის ფუნქციონალური სტრუქტურა. SCADA სისტემაში არსებობს დაშორებული ობიექტის მართვის ორი ტიპი: ავტომატური და ოპერატორის მიერ ინიცირებული სისტემები [5]. ასევე გამოყოფენ დისპეტჩერული მართვის სისტემების ოთხ ძირითად, აუცილებელ ფუნქციონალურ კომპონენტს (ნახ. 4):

- ადამიანი-ოპერატორი, რომელიც წარმოადგენს SCADA სისტემების საყრდენს. მის გარეშე ეს სისტემები ვერ ფუნქციონირებენ;
- კომპიუტერი ადამიანთან ურთიერთობაში;
- კომპიუტერის (მიკროპროცესორული მოწყობილობის) ურთიერთქმედება ამოცანასთან (ობიექტთან);

- სამართავი ობიექტი, რომელზეც უნდა განხორციელდეს ამოცანა.



ნახ. 4. SCADA სისტემის ძირითადი ფუნქციონალური კომპონენტები

დისპეტჩერული მართვისა და მონიტორინგის SCADA სისტემაში გამოიყოფა ადამიანი-ოპერატორის ხუთ ფუნქცია:

- გეგმავს, თუ რომელი მომდევნო მოქმედებების შესრულებაა აუცილებელი;
- „ასწავლის“ (აპროგრამებს) კომპიუტერულ სისტემას შემდგომ მოქმედებებს;
- აკვირდება სისტემის ავტომატური მუშაობის შედეგებს;
- ერევა პროცესებში კრიტიკული მოვლენების დროს, როცა ავტომატიკა ვერ ახდენს ამ მოვლენების არმოფხვრას, ან როცა აუცილებელია პროცესის პარამეტრების რეგულირება;
- განისწავლება მუშაობის პროცესში (იღებს გამოცდილებას);

ძალზე მნიშვნელოვანია ის ფაქტი, რომ სისტემის ფუნქციონირების პროცესში ადამიანი-ოპერატორი იზრდება პროფესიონალური

თვალსაზრისით, იღებს სამუშაო გამოცდილებას და მთლიანობაში ვითარდება SCADA სისტემა.

1.1.2 SCADA სისტემების ძირითადი ამოცანები

SCADA სისტემები წყვეტენ შემდეგ ამოცანებს:

- მანაცემთა გაცვლა საწარმოო კონტროლერებსა და შეყვანა/გამოყვანის პლატებთან რეალური დროის რეჟიმში დრაივერების მეშვეობით;
- ინფორმაციის დამუშავება რეალური დროის რეჟიმში;
- ინფორმაციის ასახვა მონიტორზე ადამიანისათვის გასაგებ ფორმაში;
- მონაცემთა არქივირება რეალური დროის რეჟიმში;
- ავარიული სიგნალიზაცია და საგანგაშო შეტყობინებების მართვა;
- ანგარიშების მომზადება ტექნოლოგიური პროცესის მიმდინარეობის შესახებ;
- ქსელური ურთიერთკავშირის დამყარება პერსონალურ კომპიუტერთან;
- კავშირი შიდა გამოყენებით პროცესებთან (მონაცემთა ბაზა, ელექტრონული ცხრილები და ა.შ.).

SCADA სისტემების მეშვეობით შესაძლებელია ტექნოლოგიური პროცესების მართვის ავტომატიზირებული სისტემების დამუშავება კლიენტ-სერვერული ან განაწილებული არქიტექტურით.

1.1.3 ძირითადი მოთხოვნები დისპეტჩერული მართვის სისტემების მიმართ

დისპეტჩერული მართვის SCADA სისტემას წაეყვება შემდეგი ძირითადი მოთხოვნები:

სისტემის საიმედოობა (ტექნოლოგიური და ფუნქციონალური). მთლიანი სისტემის ფუნქციონირებზე არ უნდა აისახოს არც ოპერატორის

ერთეულოვანი შეცდომები და არც ერთეულოვანი აპარატურული მტყუნებები. მაგალითის სახით შეგვიძლია მოვიყვანოთ ინტერნეტ ტექნოლოგიები. როდესაც რომელიმე კვანძი გამოდის მწყობრიდან, ინფორმაციის გადაცემას თავის თავზე იღებს სხვა კვანძი და ინფორმაციის მიწოდება ხდება ალტერნატიული გზებით [6]. გარდა ამისა, მართვის ყველა ოპერაცია უნდა იყოს ინტუიციურად გასაგები და მოსახერხებელი ოპერატორისათვის.

მართვის უსაფრთხოება. აქ იგულისხმება ადამიანის უსაფრთხოება. SCADA სისტემა ისეთნაირად უნდა აიგოს, რომ მისი გამოყენება იყოს ადამიანისათვის უსაფრთხო.

მონაცემთა დამუშავებისა და წარმოდგენის სიზუსტე. ეს მოთხოვნა ძალზე მნიშვნელოვანი იყო გასული საუკუნის 60–80–იან წლებში, როდესაც რთული იყო მაღალი სწრაფქმედებისა და სიზუსტის მიღწევა. დღეისათვის ტექნოლოგიები საგრძნობლად განვითარდა და ამ მოთხოვნების დაკმაყოფილება არ წარმოადგენს დიდ პრობლემას.

სისტემის გაფართოების სიმარტივე. SCADA სისტემა უნდა იყოს ღია სისტემა, მისი გაფართოება შესაძლებელი უნდა იყოს მარტივად, მკვეთრი სტრუქტურული ცვლილებების გარეშე.

SCADA სისტემების მახასიათებლები, ფუნქციონალური შესაძლებლობები. იმ მოთხოვნების გამო, რომლებიც წაყენებათ SCADA სისტემებს, მათი ფუნქციონალური შესაძლებლობების სპექტრი განსაზღვრული და რეალიზებულია ყველა პროგრამულ პაკეტში. ძირითადი საშუალებები და შესაძლებლობები, რომლებიც ახასიათებს ყველა SCADA სისტემას და განსხვავდებიან მხოლოდ ტექნიკური რეალიზაციის თავისებურებებით არის:

- ავტომატიზირებული დამუშავება, რომელიც იძლევა პროგრამული უზრუნველყოფის შექმნის საშუალებას რეალური პროგრამირების გარეშე;

- დაბალი დონის მოწყობილობებიდან მონაცემთა პირველადი ამოკითხვის საშუალებები;
- ავარიული სიტუაციების შესახებ სიგნალების რეგისტრაციისა და მართვის საშუალებები;
- მონაცემთა შენახვის საშუალებები მათი ხელმეორედ დამუშავების შესაძლებლობებით;
- პირველადი მონაცემების დამუშავების საშუალებები;
- ინფორმაციის ვიზუალიზაციის საშუალებები გრაფიკების, ჰისტოგრამებისა და სხვა ობიექტების სახით;
- მუშაობის შესაძლებლობა პარამეტრების ნაკრებთან, როგორც ერთიან, მთლიან მონაცემთან;

უნდა აღინიშნოს, რომ ავტომატიზირებული სისტემების პროექტირების ტექნოლოგია სხვადასხვა SCADA სისტემების საფუძველზე მსგავსია და მოიცავს შემდეგ ეტაპებს, როგორცაა: *ავტომატიზაციის სისტემის მთლიანი არქიტექტურის დამუშავება*. ამ ეტაპზე განისაზღვრება ავტომატიზაციის ყოველი კვანძის ფუნქციონალური დანიშნულება. *ყოველი კვანძის მართვისთვის განკუთვნილი სამომხმარებლო სისტემის შექმნა*. ამ ეტაპზე სპეციალისტი ავტომატიზირებული პროცესების დარგში ახდენს ალგორითმების მინიჭებას ყოველი კვანძისთვის. ამ ალგორითმების ერთობლიობა იძლევა ავტომატიზაციის ამოცანების გადაწყვეტის საშუალებას. *გამოყენებითი სისტემის პარამეტრების ადაპტირება* იმ მონაცემებთან, რომელსაც ცვლიან ქვედა დონის მოწყობილობები გარე სამყაროსთან. *შექმნილი გამოყენებითი პროგრამის გამართვა* ემულაციისა და რეალურ რეჟიმებში [5,6].

SCADA სისტემების ზემოთმოყვანილი შესაძლებლობები მნიშვნელოვნად განსაზღვრავენ პროგრამული უზრუნველყოფის ფასს, შექმნისა და დახარჯული თანხის ამოღების დროის ხანგრძლივობას.

ტექნიკური მახასიათებლები. SCADA სისტემის მახასიათებლები, რომლებიც მნიშვნელოვანია მისი ფუნქციონირების შეფასებისათვის:

პროგრამულ-აპარატურული პლატფორმები რომლებზედაც რეალიზებულია SCADA სისტემები. ასეთი პლატფორმების ანალიზი აუცილებელია, რაგდანაც სწორედ ამ პლატფორმებზეა დამოკიდებული SCADA სისტემების გავრცელება არსებულ გამომთვლელ საშუალებებზე და მათი ექსპლუატაციის ღირებულება (ერთ ოპერაციულ სისტემაში დამუშავებული გამოყენებითი პროგრამა შეიძლება გამოყენებულ იქნას სხვა ოპერაციულ სისტემაში, რომელსაც უჭერს მხარს შერჩეული SCADA პაკეტი).

SCADA სისტემების უმრავლესობა რეალიზებულია MS Windows-ის პლატფორმებზე. სწორედ ასეთი სისტემები იძლევიან სრულ და ადვილად გაფართოებად სამომხმარებლო ინტერფეისის საშუალებებს. უნდა აღინიშნოს, რომ მრავალპლატფორმული SCADA სისტემების ისეთი დამუშავებლებიც კი, როგორცაა United States DATA Co, პრიორიტეტულად მიიჩნევენ თავიანთი SCADA სისტემების შემდგომ განვითარებას Windows-ის პლატფორმაზე. ზოგიერთი ფირმები, რომლებიც მხარს უჭერდნენ SCADA სისტემებს რეალურ დროში მომუშავე ოპერაციული სისტემების ბაზაზე, დაიწყეს ორიენტაციის შეცვლა Windows-ის სასარგებლოდ. სულ უმფრო აშკარაა რეალური დროის რეჟიმში მომუშავე ოპერაციული სისტემების გამოყენება ჩაშენებულ სისტემებში. ამგვარად ძირითადი ველი, სადაც დრესდლეობით ვითარდება SCADA სისტემების გლობალური ბაზრის მოვლენები, არის ოპერაციული სისტემა MS Windows.

ქსელური მხარდაჭერის არსებული საშუალებები. თანამედროვე ავტომატიზაციის სისტემების ერთ-ერთი ძირითადი თავისებურებაა მაღალი ინტეგრაციის დონე. ნებისმიერ ასეთ სისტემაში შეიძლება ჩართული იყოს მართვის ობიექტები, შემსრულებელი მექანიზმები, ინფორმაციის რეგისტრაციისა და დამუშავებისათვის განკუთვნილი აპარატურა, ოპერატორების სამუშაო ადგილები, მონაცემთა ბაზების სერვერები და ა.შ. ცხადია SCADA სისტემამ უნდა უზრუნველყოს ქსელური სერვერის მაღალი დონე ასეთ მრავალფეროვან გარემოში [6]. SCADA

სისტემამ ასევე უნდა უზრუნველყოს გავრცელებული საწარმოო ინტერფეისების მხარდაჭერა (PROFIBUS, CANBUS, LON, MODBUS და სხვა).

ამ მოთხოვნებს ძირითადად აკმაყოფილებს პრაქტიკულად ყველა თანამედროვე SCADA სისტემა, განსხვავებულია მხოლოდ ქსელური ინტერფეისები.

ჩაშენებული საბრძანებო ენები. SCADA სისტემების უმეტესობას გააჩნიათ ჩაშენებული მაღალი დონის საბრძანებო ენები. ამ ენების მეშვეობით შესაძლებელია ადეკვატური რეაქციების გენერაცია მოვლენების წარმოშობისას, რაიმე პირობების შესრულებისას, კლავიშთა განსაზღვრულ კომბინაციაზე დაჭერისას და ა.შ.

მონაცემთა ბაზების მხარდაჭერა. პრაქტიკულად ყველა SCADA სისტემა, იყენებს SQL-ის სინტაქსს, რომელიც არ არის დამოკიდებული მონაცემთა ბაზის ტიპზე. ამგვარად გამოყენებითი მოდულები ვირტუალურად იზოლირებულია, რაც იძლევა მონაცემთა ბაზის ცვლილების საშუალებას გამოყენებითი ამოცანის სერიოზული ცვლილების გარეშე. გარდა ამისა შესაძლებელია მონაცემთა ანალიზისათვის განკუთვნილი დამოუკიდებელი პროგრამების შექმნა და უკვე არსებული პროგრამების გამოყენება.

გრაფიკული შესაძლებლობები. ავტომატიზაციის სისტემების ინჟინერ-დამპროექტებლისათვის ძალზედ მნიშვნელოვანია გრაფიკული სამომხმარებლო ინტერფეისი. ფუნქციონალურად ყველა SCADA სისტემის სამომხმარებლო ინტერფეისები მსგავსია. ყოველ მათგანში არსებობს გრაფიკული ობიექტ-ორიენტირებული რედაქტორი ანიმაციური ფუნქციების ნაკრებით. გამოყენებული ვექტორული გრაფიკა ამორჩეულ ობიექტებზე მრავალი ოპერაციის ჩატარების საშუალებას იძლევა. ანიმაციის საშუალებების გამოყენებით კი შესაძლებელია სამუშაო ეკრანზე გამოსახულებების სწრაფი ცვლა.

სისტემების გახსნილობა. პროგრამული უზრუნველყოფა გახსნილია თუ მისთვის განსაზღვრული და აღწერილია მონაცემთა გამოყენებული ფორმატები და პროცედურული ინტერფეისი [6,7]. ეს მასთან გარე, დამოუკიდებლად დამუშავებული კომპონენტების მიერთების საშუალებას იძლევა.

საექსპლუატაციო მახასიათებლები. დიდი მნიშვნელობა აქვს SCADA სისტემების საექსპლუატაციო მახასიათებლებს, რადგან მათზეა დამოკიდებული პროდუქტის ათვისებისა და გამოყენებითი სისტემების შექმნის სიჩქარე. საბოლოოდ საექსპლუატაციო მახასიათებლები აისახება პროექტების რეალიზაციასა და ფასზე.

გამოყენების მოხერხებულობა. უნდა აღინიშნოს, რომ SCADA სისტემების მიერ გამოყენებითი პროგრამული უზრუნველყოფების დამუშავების შემოთავაზებული სერვისის დონე მაღალია. ეს განპირობებულია ასეთი სისტემების მიმართ წაყენებული ძირითადი მოთხოვნებით. თითქმის ყველა ასეთ სისტემას გააჩნია Windows-ის მსგავსი სამომხმარებლო ინტერფეისი. ეს ზრდის მათი გამოყენების მოხერხებულობას როგორც დამუშავების, ასევე გამოყენების პროცესში.

ავტომატიზაციის მრავალდონიანი სისტემების ინტეგრაცია. SCADA სისტემა პასუხისმგებელია ინფორმაციის მიღებაზე ქვედა დონიდან. ქვედა დონეს წარმოადგენს სხვადასხვა გადამცემები და პროგრამირებადი კონტროლერები, რომლებიც იძლევიან საწარმოო პროცესის სამართავ ინფორმაციას. ამის შემდეგ, დაბალი დონიდან ამოკითხული ინფორმაცია მიეწოდება SCADA სისტემის შესასვლელზე. SCADA-ს დონეზე შესაძლებელია პროცესის ოპერატიული მართვა, მიღებული ინფორმაციის საფუძველზე ტაქტიკური გადაწყვეტილებების მიღება.

ავტომატიზირებული სისტემების დაპროექტებისას უმნიშვნელოვანესი კომპონენტია სისტემის დისპეტჩერული მართვისთვის განკუთვნილი პროგრამული პროდუქტი. დაპროგრამების ამა თუ იმ ენაზე

შექმნილი პროგრამული უზრუნველყოფა საშუალებას გვაძლევს ეფექტურად ვმართოთ ტექნოლოგიური პროცესი.

1.1.4 SCADA სისტემის გამოყენების სფეროები

ძალიან რთულია ისეთი სფეროს დასახელება, სადაც არ გამოიყენება მართვის ავტომატიზირებული სისტემები. ქვემოთ მოყვანილია მხოლოდ ძირითადი სფეროები, სადაც აქტიურად ინერგება და გამოიყენება თანამედროვე SCADA სისტემები:

- ელექტროენერჯის გადაცემისა და განაწილების მართვა;
- სამრეწველო წარმოებები;
- ელექტროენერჯის წარმოება;
- წყალმომარაგება და წყლის გასუფთავება;
- გაზისა და ნავთობის მოპოვება, ტრანსპორტირება და განაწილება;
- კოსმიური ობიექტების მართვა;
- ტრანსპორტის მართვა (ტრანსპორტის ყველა სახე: საჰაერო, მეტრო, რკინიგზა, საავტომობილო, წყლის);
- ტელეკომუნიკაცია;
- სამხედრო სფერო.

თუმცა ყველაზე მეტად მნიშვნელოვანია SCADA სისტემების გამოყენება ტექნოლოგიური პროცესების მართვაში.

დღეისათვის არსებული ყველა თანამედროვე საწარმო აღჭურვილია კომპიუტერული მართვის საშუალებებით. განვითარებულ ქვეყნებში ასევე შეინიშნება ეკონომიკის სხვადასხვა სფეროში ახალი ავტომატიზირებული მართვის სისტემების დანერგვა და არსებული სისტემების მოდერნიზაცია. უმეტეს შემთხვევებში აღნიშნული სისტემები იგება დისპეტჩერული მართვისა და მონაცემთა შეგროვების პრინციპზე. ნიშანდობლივია, რომ ინდუსტრიულ სფეროში სულ უფრო ხშირად ხდება არსებული

საწარმოების მოდერნიზაცია ახალი თაობის SCADA სისტემებით. ახალი მართვის სისტემების დანერგვით გამოწვეული ეფექტი, საწარმოს ტიპიდან გამომდინარე, განისაზღვრება ასობით ათასიდან მილიონობით დოლარამდე ყოველწლიურად.

დიდი ყურადღება ეთმობა ისეთი საწარმოების მოდერნიზაციას, რომლებიც დიდ ეკოლოგიურ საშიშროებას უქმნიან გარემოს (ქიმიური და ბირთვული საწარმოები). ასევე დიდი ყურადღება ეთმობა დასახლებული პუნქტებისათვის სასიცოცხლო მნიშვნელობის საწარმოების მოდერნიზაციას (წყალგაყვანილობა, კანალიზაცია და ა.შ).

1.1.5 დაშორებული ტერმინალი RTU – SCADA-ს საკვანძო კომპონენტი

დაშორებული ტერმინალი უშუალოდ ურთიერთქმედებს ობიექტთან და ახდენს მის მართვას. მთავარი ტერმინალი (MTU) უგზავნის მართვის ზემოქმედებას დაშორებულ ტერმინალს კავშირის არხის მეშვეობით და უკან იღებს საჭირო მონაცემებს. მთავარი ტერმინალი და დაშორებულ ტერმინალი ტერიტორიულად დაშორებული არიან ერთმანეთისაგან. დაშორებული ტერმინალის მეშვეობით შესაძლებელია ტექნოლოგიური პროცესი უშუალოდ იმართებოდეს ტერიტორიულად დაშორებული წერტილიდან. სამართავ ობიექტთან საჭიროა დაშორებული ტერმინალი, რომელიც უშუალოდ არის მიერთებული მასთან, იღებს მისგან მონაცემებს და გადასცემს ობიექტს მართვის ზეგავლენას.

ხელსაწყოებს, რომლებიც მუშაობენ დაშორებული ტერმინალების როლში, უწოდებენ *პროგრამირებად-ლოგიკურ კონტროლერებს* [1]. სინამდვილეში ეს მოწყობილობები წარმოადგენენ კომპიუტერებს, მაგრამ არა პერსონალური კომპიუტერების გაგებით.

პერსონალური კომპიუტერი არის უნივერსალური კომპიუტერი, რომელსაც შეუძლია პრაქტიკულად ნებისმიერი სახის ინფორმაციის დამუშავება. პროგრამირებადი ლოგიკური კომპიუტერები კი წარმოადგენენ

სპეციალიზირებულ კომპიუტერებს, რომლებიც წყვეტენ კონკრეტულ ამოცანებს. ამ მოწყობილობებს ასევე შეუძლიათ გარკვეული მართვითი პროცესების გადაწყვეტა ადგილზე. ამის მაგალითია რეგულირება. შესაძლებელია დაშორებულ ტერმინალს „დაევალოს“ მილის ჩაკეტვა 3/4-ზე. ამ დროს ის მოახდენს მილის ჩაკეტვას მანამ, სანამ მილი არ ჩაკეტება 3/4-ზე.

დაშორებული ტერმინალების ვითარდება ორი ძირითადი მიმართულებით: საწარმოო კომპიუტერები და პროგრამირებადი ლოგიკური კონტროლერები (PLC).

საწარმოო კომპიუტერი წარმოადგენს კომპიუტერს, რომელიც განკუთვნილია სამუშაოდ სამრეწველო საწარმოო პროცესების ფარგლებში. საწარმოო კომპიუტერები როგორც წესი, წარმოადგენენ ჩვეულებრივ, პერსონალურ კომპიუტერებთან თავსებად კომპიუტერებს და მათგან განსხვავებით ადაპტირებულნი არიან ექსპლუატაციის მკაცრ პირობებთან. ადაპტაცია ეხება როგორც კონსტრუქციულ შესრულებას, ასევე არქიტექტურასა და სქემოტექნიკას, რადგან გარემოს ტემპერატურის ცვლილება იწვევს ელექტრული პარამეტრების დრეიფს.

საწარმოო კომპიუტერების (ნახ. 5) მუშაობა შესაძლებელია ქარხნებში, ელექტროსადგურებში და სხვა საწარმოო პროცესებში, მტვერის,



ნახ. 5. საწარმოო კომპიუტერი

გამოსხივებისა და მაღალი ტემპერატურის პირობებში. ასეთ პირობებში ჩვეულებრივი პერსონალური კომპიუტერის ხანგრძლივი მუშაობა შეუძლებელია. საწარმოო კომპიუტერი ხშირად გამოდის IBM PC თავსებადი კომპიუტერის სახით. მას გააჩნია თავსებადობა სტანდარტული პერსონალური კომპიუტერების აპარატურულ და პროგრამულ უზრუნველყოფებთან. განსხვავება საწარმოო კომპიუტერებსა და პროგრამირებად ლოგიკურ კონტროლერებს შორის ძირითადად მდგომარეობს იმაში, რომ საწარმოო კომპიუტერს გააჩნია ოპერაციული სისტემა. დაშორებული ტემინალების როლში გამოყენებულ საწარმოო კომპიუტერებში სულ უფრო ხშირად იყენებენ Windows ოპერაციულ სისტემას. გარდა ამისა გამოიყენება აღნიშნული ოპერაციული სისტემის სხვადასხვა გაფართოებული ვერსიები რეალურ დროში სამუშაოდ.

პროგრამირებად ლოგიკურ კონტროლერებში კი ოპერაციული სისტემა არ არის. ოპერაციულ სისტემის გამოყენებას გააჩნია თავისი დადებითი და უარყოფითი მხარეები. მისი გამოყენებით მოწყობილობა ხდება უნივერსალური, თუმცა ვერ მიიღწევა საიმედოობის მაღალი დონე. მოწყობილობამ უნდა იმუშაოს 24 საათის განმავლობაში გათიშვის გარეშე და არ უნდა დაუშვას შეცდომები. ჩვენთვის კარგად ცნობილი Windows ოპერაციული სისტემა კი ამის საშუალებას არ იძლევა.

პროგრამირებადი ლოგიკური კონტროლერები (PLC) წარმოადგენენ



ნახ. 6. პროგრამირებადი ლოგიკური კონტროლერი (PLC)

სპეციალიზირებულ გამომთვლელ მოწყობილობებს, რომლებიც განკუთვნილია პროცესების (ობიექტების) სამართავად რეალური დროის რეჟიმში. პროგრამირებად ლოგიკურ კონტროლერებს გააჩნიათ გამომთვლელი ბირთვი და შეყვანა-გამოყვანის მოდულები. ისინი იღებენ ინფორმაციას (სიგნალებს) გადამცემებიდან, გადამრთველებიდან, გარდამქმნელებიდან, სხვა მოწყობილობებიდან, კონტროლერებიდან და ახდენენ პროცესის ან ობიექტის მართვას მართვის სიგნალების მეშვეობით. თანამედროვე PLC-ბი (ნახ. 6) ხშირად ერთიანდებიან ქსელში (RS-485, Ethernet, სხვადასხვა ტიპის საწარმოო სალტები). დამუშავებული პროგრამული უზრუნველყოფა საშუალებას იძლევა მოხდეს კონტროლერების მართვა და პროგრამირება SCADA სისტემის ზედა დონეზე არსებული მართვის ტერმინალიდან (MTU) ოპერატორისათვის მოსახერხებელ ფორმაში.

ბაზრის ანალიზმა აჩვენა, რომ ყველაზე მეტად განვითარებული არქიტექტურით, პროგრამული უზრუნველყოფითა და ფუნქციონალური შესაძლებლობებით ხასიათდება Siemens, Fanuc Automation (General Electric), Allen-Bradley (Rockwell), Mitsubishi ფირმების მიერ დამუშავებული პროგრამირებადი ლოგიკური კონტროლერები.

საბოლოო ჯამში შეიძლება გამოიკვეთოს ძირითადი ტენდენცია: იქ, სადაც აუცილებელია მაღალი საიმედოობა და მუშაობა ხისტი რეალური დროის რეჟიმში, გამოიყენება პროგრამირებადი ლოგიკური კონტროლერები. პირველ რიგში ეს ეხება სასიცოცხლო მნიშვნელობის სისტემებს (წყალმომარაგება, ელექტრომომარაგება), სატრანსპორტო სისტემებს, ენერგეტიკულ და სამრეწველო საწარმოებს, რომლებიც ასევე წარმოადგენენ დიდ ეკოლოგიურ საშიშროებას. მაგალითის სახით შეიძლება მოვიყვანოთ PLC-ბის სერია Simatic (Siemens), რომლებიც გამოყენებულია გერმანიაში სარკინიგზო ხაზების ელექტრომომარაგების მართვის სისტემაში. საწარმოო კომპიუტერები ძირითადად გამოყენებულია ნაკლებად კრიტიკულ სფეროებში (მაგალითად General Motors საწარმოს

საავტომობილო მრეწველობაში), თუმცა ვხვდებით მათი უფრო საპასუხისმგებლო სფეროებში გამოყენების მაგალითებსაც (მაგალითად ვარშავას მეტროში გამოყენებული მატარებლების მოძრაობის მართვის სისტემა). ექსპერტთა შეფასებით PLC-ბის ბაზაზე აგებული სისტემა ხასიათდება ნაკლები ღირებულებით ინდუსტრიალური კომპიუტერების ბაზაზე აგებულ სისტემასთან შედარებით.

1.1.6 SCADA სისტემაში გამოყენებული კავშირის არხები და მონაცემთა გადაცემის მეთოდების შედარებითი ანალიზი

თანამედროვე დისპეტჩერული სისტემებისთვის განკუთვნილი კავშირის არხები გამოირჩევიან დიდი ნაირსახეობით. კონკრეტული არხის არჩევა დამოკიდებულია სისტემის არქიტექტურაზე, მანძილზე დისპეტჩერულ პუნქტსა (MTU) და დაშორებულ პუნქტს (RTU) შორის, საკონტროლო წერტილების რაოდენობაზე, მოთხოვნებზე არხის გამტარუნარიანობის, საიმედოობისა და ღირებულების მიმართ [7].

ფიზიკურად კავშირის არხის სახით გამოიყენება საკაბელო, ოპტიკური, რადიოკავშირები. კავშირის არხის ასაგებად იყენებენ RS-232/485, Ethernet და სხვა ინტერფეისებს. იმისათვის, რომ მოხდეს მონაცემთა გადაცემა კავშირის არხების მეშვეობით საჭიროა სპეციალური პროტოკოლები, როგორებიცაა MODBUS, PROFIBUS, TCP/IP ა.შ. [8].

კავშირის არხის, როგორც SCADA სისტემის სტრუქტურული კომპონენტის განვითარების ტენდენციას შეიძლება მივაკუთვნოთ როგორც დიდი ნაირსახეობის გამოყოფილი არხების (ISDN, ATM და ა.შ), ასევე კორპორატიული კომპიუტერული ქსელებისა და სპეციალიზირებული ინდუსტრიალური სალტეების გამოყენების შესაძლებლობა.

თანამედროვე სამრეწველო, ენერგეტიკულ და სატრანსპორტო სისტემებში დიდი პოპულარობა მოიპოვეს ინდუსტრიალური სალტეების ბაზაზე აგებულმა სწრაფქმედმა კავშირის არხებმა. ეს არხები ეფექტურად

წყვეტენ კავშირის საიმედოობისა და დაბრკოლებისადმი მდგრადობის ამოცანებს ავტომატიზაციის სხვადასხვა დონეზე.

მთელს მსოფლიოში გამოყენებული ინდუსტრიალური სალტებიდან შეიძლება გამოყოფილ იქნას უფრო პოპულარული და პერსპექტიული სამრეწველო ვარიანტები Ethernet და PROFIBUS. სპეციალიზირებული პროტოკოლები საშუალებას იძლევა აცილებულ იქნას კოლიზიები და გამოვიყენოთ Ethernet-ი, როგორც ღია ინტერფეისი. PROFIBUS ერთ-ერთი ყველაზე პერსპექტიული სალტა და ფართოდ გამოიყენება სატრანსპორტო და სამრეწველო მართვის სისტემებში [8]. ეს სალტე უზრუნველყოფს მონაცემთა სწრაფქმედ (12 მბოდი) დაბრკოლებისადმი მდგრად გადაცემას 90 კმ-მდე მანძილზე.

მონაცემთა მომდევრობითი გადაცემის პრინციპები. მონაცემთა გადაცემა არის ელექტროკავშირის სახე, რომელიც უზრუნველყოფს მონაცემთა გაცვლას სიგნალების სახით კავშირის არხის მეშვეობით სამომხმარებლო პროცესებსა და დაშორებულ მოწყობილობებს შორის მათი შემდგომი დამუშავების მიზნით.

კავშირის არხი არის ტექნიკურ საშუალებათა კომპლექსი, რომელიც უზრუნველყოფს ელექტროკავშირის სიგნალების გადაცემას გარკვეული სიხშირითა და სიჩქარით ქსელში გაერთიანებულ მოწყობილობებს შორის. კავშირის არხის სახით შესაძლოა გამოყენებული იყოს სპილენძისა და ოპტიკური გამტარები, რადიოკავშირი და სხვა.

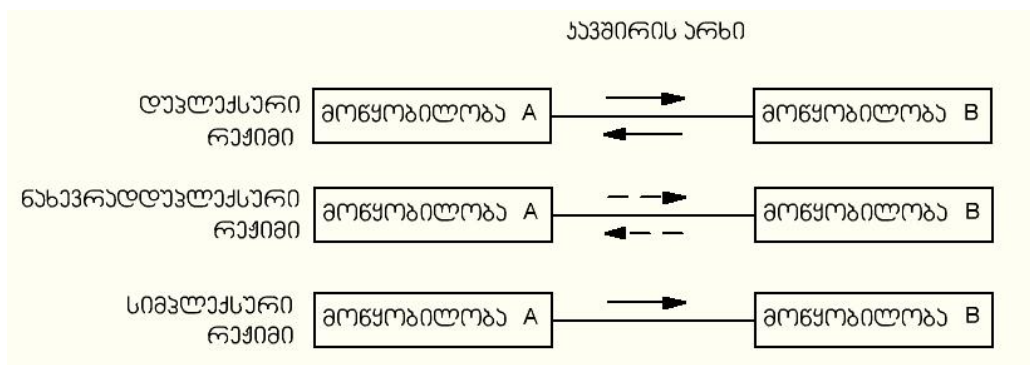
მონაცემთა გაცვლისათვის კავშირის არხების მეშვეობით გამოიყენება სამი მეთოდი (ნახ. 7): **დუპლექსური, ნახევრადდუპლექსური და სიმპლექსური (ერთგამტარიანი)** [8].

დუპლექსური რეჟიმის დროს მონაცემთა გადაცემა და მიღება სრულდება ერთდროულად. ყველაზე მარტივ შემთხვევაში დუპლექსური რეჟიმისათვის გამოიყენება კავშირის ორი ხაზი. ერთი ხაზი გამოიყენება მონაცემთა გადაცემისათვის, ხოლო მეორე – მონაცემთა მიღებისათვის.

თუმცა არსებობს სხვადასხვაგვარი გადაწყვეტები, რომელთა მეშვეობითაც შესაძლებელია დუპლექსური რეჟიმის განხორციელება ერთი კავშირის არხის გამოყენებით. მაგალითად, ორივე კვანძს შეუძლია მონაცემთა გადაცემა ერთდროულად, ხოლო მიღებული მონაცემებიდან თითოეული კვანძი გამოარჩევს მხოლოდ მისთვის განკუთვნილ მონაცემებს.

ნახევრადდუპლექსური რეჟიმის დროს მონაცემთა გადაცემა ორივე მიმართულებით ხორციელდება ერთი კავშირის არხის გამოყენებით დროში განაწილებულად. ანუ დროის ყოველ მომენტში გადაცემა ხდება მხოლოდ ერთი მიმართულებით. ანუ გადამცემი მოწყობილობა დროის კონკრეტულ მომენტში მთლიანად იკავებს კავშირის არხს.

ასეთი რეჟიმის დროს შეძლება ადგილი ჰქონდეს შემთხვევას, როცა ორი მოწყობილობა ერთდროულად ცდილობს კავშირის არხის დაკავებას. ასეთ მოვლენას ეწოდება კოლიზია. ნახევრადდუპლექსურ კავშირის არხებში გამოიყენება კოლიზიების აღმოჩენისა და აღმოფხვრის ალგორითმი **CSMA/CD**. ამ ალგორითმით მოწყობილობა, რომელიც ცდილობს მონაცემთა გადაცემას, „უსმენს“ არხს და ახდენს მონაცემთა გადაცემას იმ შემთხვევაში, თუ არხი თავისუფალია. თუ არხი დაკავებულია, მოწყობილობა განაგრძობს მის „მოსმენას“ მანამ, სანამ არხი არ განთავისუფლდება. რამოდენიმე კადრის გადაცემის შემთხვევაში მოწყობილობა ახდენს მათ გადაცემას კარკვეული დროითი დაყოვნებით,



ნახ. 7. მონაცემთა გადაცემის რეჟიმები

რომელსაც **კადრებშორისი ინტერვალი** ეწოდება. ყოველი კარდის გაგზავნის წინ მოწყობილობა კვლავ ახდენს ქსელის „მოსმენას“ და გადასცემს კადრს იმ შემთხვევაში, თუ ქსელი თავისუფალია [8].

კოლიზიის აღმოჩენის შემთხვევაში მოწყობილობა აგზავნის კოლიზიის **jam** სიგნალს და ლოდინის რეჟიმში. განსაზღვრული დროითი ინტერვალის გასვლის შემდეგ კვლავ ცდილობს მონაცემთა გადაცემას. **სიმპლექსური** რეჟიმის დროს მონაცემთა ერთდროული გადაცემა შესაძლებელია მხოლოდ ერთი მიმართულებით. მონაცემთა გადაცემის დროს კვანძი მთლიანად იკავებს კავშირის არხს. მონაცემთა სიმპლექსური გადაცემის მაგალითებია რადიო და ტელემაუწყებლობა.

მონაცემთა გადაცემა შესაძლებელია განხორციელდეს მიმდევრობით, ან პარალელურად.

მონაცემთა **მიმდევრობით გადაცემაში** იგულისხმება მონაცემთა ცალკეული ბიტების გადაცემა ერთი საკომუნიკაციო კავშირის არხის მეშვეობით. მონაცემთა **პარალელური გადაცემის** დროს კი ერთდროულად ხდება რამოდენიმე ბიტის გადაცემა კავშირის არხში არსებული რამოდენიმე პარალელური გამტარის მეშვეობით.

პარალელური გადაცემის დროს კავშირის არხის ცალკეულ გამტარებს შორის არსებობს ელექტრული ტევადობები, ამიტომ სიგნალის გადაცემის დროს რომელიმე გამტარში წარმოიქმნება ელექტრული შეშფოთება სხვა გამტარებზე. კავშირის არხის სიგრძის ზრდასთან ერთად იზრდება ტევადობების სიდიდეები გამტარებს შორის. ამ დროს შეიძლება აღიძვრას მნიშვნელოვანი შეშფოთებები, რომლებიც აღიქმება როგორც გადასაცემი სიგნალები. ამიტომ მონაცემთა პარალელური გადაცემის დროს კავშირის არხის მაქსიმალური სიგრძე შეზღუდულია 1–2 მეტრამდე [8, 9].

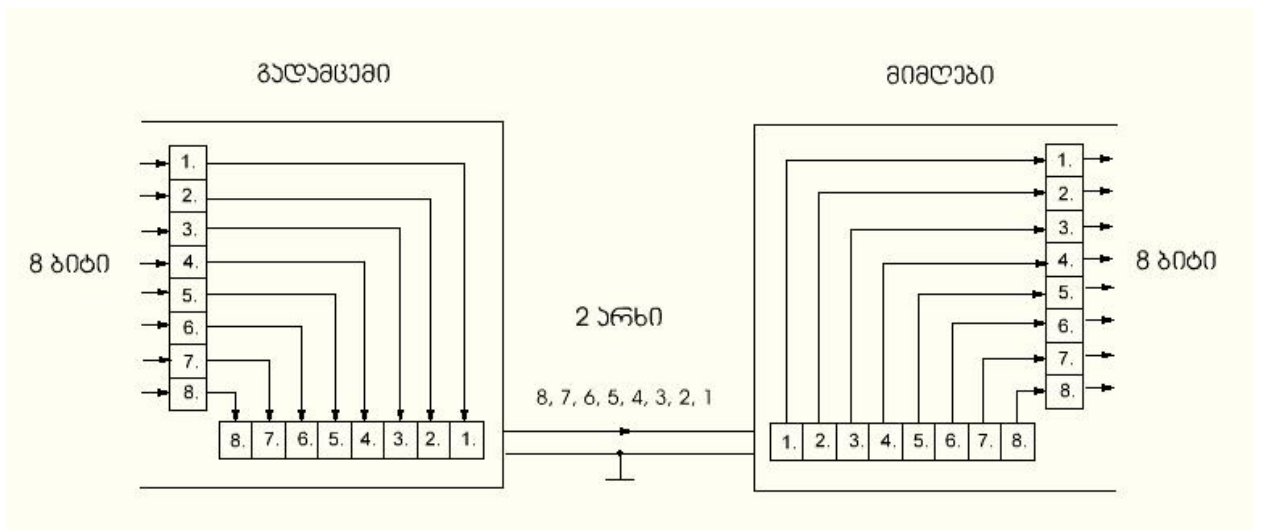
ზემოთაღნიშნულმა გარემოებებმა განაპირობეს მონაცემთა მიმდევრობითი გადაცემის პრინციპის ფართო გავრცელება. მონაცემთა მიმდევრობითი გადაცემის ტექნოლოგია გამოიყენება მონაცემთა ციფრული

გადაცემისათვის. ამ ტექნოლოგიას ეფუძვნება ისეთი თანამედროვე საკომუნიკაციო სისტემები, როგორებიცაა კომპიუტერული ქსელები, სამშენებლო და საწარმოო ავტომატიკის სისტემები და სხვა.

მოწყობილობებში გამოყენებული მოკროპოცესორები ახდენენ მონაცემთა პარალელურ დამუშავებას. ამის გამო გადაცემისას საჭიროა პარალელური სახით წარმოდგენილი მონაცემების გარდაქმნა მიმდევრობით ფორმაში, ხოლო მიღებისას კი პირიქით – მიმდევრობითი სახით მიღებული მონაცემების გარდაქმნა პარალელურ ფორმაში (ნახ. 8).

მონაცემთა ამგვარი გარდაქმნა შესაძლებელია განხორციელდეს სპეციალური მიმღებებისა და გადამცემების მეშვეობით.

მიმდევრობითი გადაცემის პრინციპში გამოყენებულია სიგნალების მთლიანობის შენარჩუნების ტექნოლოგიები, რაც განაპირობებს მის მაღალ საიმედოებას მონაცემთა გადაცემის დროს. გარდა ამისა მონაცემთა მიმდევრობითი გადაცემა ხასიათდება მაღალი სწრაფქმედებით.



ნახ. 8. მონაცემთა მიმდევრობითი გადაცემა

მიმდევრობითი გადაცემის დროს ყოველი საინფორმაციო ბიტს თან უნდა ახლდეს სინქრონიზაციის ბიტი – სტრობი. თუ სინქრონიზაციის ბიტების გადაცემა ყოველი მოწყობილობისათვის ხდება ერთი გამოყოფილი ხაზის მეშვეობით, ასეთ ინტერფეისს უწოდებენ სინქრონულ ინტერფეისს.

სასტარტო ბიტი		გადასაცემი სიმბოლო					ლუნჯის ბიტი	დამამთავრებელი ბიტი
		0	1	0	1	1		

ნახ. 9. შეტყობინების ფორმატი მონაცემთა სინქრონული გადაცემის დროს

ამ დროს სინქრონიზაციის გენერატორი განლაგებულია გადაცემის მაფორმირებელი მოწყობილობის მხარეს. თუ მიმღებ/გადამცემები შეიცავენ ერთ სიხშირეზე მომუშავე სინქრონიზაციის საკუთარ გენერატორებს, ასეთ ინტერფეისს უწოდებენ **ასინქრონულ ინტერფეისს**. ასეთ შემთხვევაში ინფორმაციის მიმღები თავად ირჩევს სინქრონიზაციას.

ასინქრონული გადაცემისას ყოველი სიმბოლო გადაიცემა ცალკე შეტყობინების სახით (ნახ. 10). გადაცემის ასინქრონული რეჟიმი არის ბაიტის გადაცემაზე ორიენტირებული რეჟიმი. ყოველი ბაიტის გადაცემა იწყება სასტარტო ბიტით, რომელიც ატყობინებს მიღებს გადაცემის დაწყებას. სასტარტო ბიტს მოსდევს მონაცემები და პარიტეტის (ლუნჯის) ბიტები. ბაიტის გადაცემა მთავრდება დამამთავრებელი ბიტით.

დამამთავრებელი ბიტი უზრუნველყოფს პაუზებს გადაგზავნებს შორის. ასინქრონული რეჟიმისათვის მიღებულია მონაცემთა გაცვლის სტანდარტული სიჩქარეები: 50, 75, 110, 300, 600, 1200, 2400, 9600, 19200, 38400, 57600 და 115200 ბიტი/წმ.

მონაცემთა **ასინქრონული გადაცემის პრინციპის უპირატესობებია** სისტემის დამუშავების სიმარტივე და არამვირადლირებული მოწყობილობების გამოყენების შესაძლებლობა. **უარყოფით მხარეებს** შეიძლება მივაკუთვნოთ ის, რომ გამტარუნარიანობის მესამედი ნაწილი იკარგება მომსახურე ბიტების გადაცემაზე, ამ პრინციპის გამოყენებისას მონაცემთა გადაცემის სიჩქარე მნიშვნელოვნად მცირდება სინქრონულ პრინციპთან შედარებით და მრავალჯერადი შეცდომების დროს შეუძლებელია მიღებული ინფორმაციის უტყუარობის შემოწმება. მონაცემთა ასინქრონული გადაცემის პრინციპი გამოიყენება ისეთ

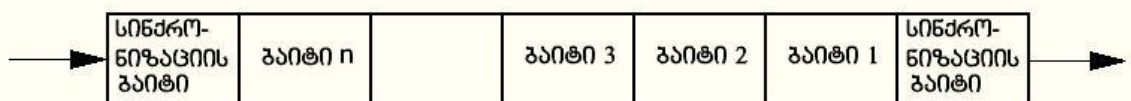
სისტემებში, სადაც მონაცემთა გადაცემა ხდება დროდადრო და მცირე სიჩქარეებით [9].

სინქრონული მეთოდის გამოყენებისას მონაცემთა გადაცემა ხდება ბლოკებად. მიმღებისა და გადამცემის სინქრონიზაციისათვის ყოველი ბლოკის დასაწყისში თავსდება სინქრონიზაციის ბიტები. ამის შემდეგ გადაიცემა მონაცემები, შეცდომის აღმოჩენის კოდი და დამამთავრებელი ბიტი. შეცდომის აღმოჩენის კოდის გამოთვლა ხდება მონაცემთა ველის შემცველობის მიხედვით და მისი მეშვეობით შესაძლებელია მიღებული ინფორმაციის უმტყუნობის განსაზღვრა.

სასტარტო ბიტები		გადასაცემი სიგნალი					შეცდომის აღმოჩენის კოდი	დამამთავრებელი ბიტი
							#	

ნახ. 10. შეტყობინების ფორმატი მონაცემთა ასინქრონული გადაცემის დროს

მაღალი ეფექტურობა, მონაცემთა გადაცემის მაღალი სიჩქარე და შეცდომათა აღმოჩენის საიმედო, ჩაშენებული მექანიზმის არსებობა. თუმცა ამ რეჟიმისათვის გამოყენებული მოწყობილობები რთული აგებულებითა და მაღალი ფასით ხასიათდებიან. მონაცემთა სინქრონული გადაცემის დროს ბაიტებს შორის არ არის სასტარტო და დამამთავრებელი ბიტები. სამომხმარებლო მონაცემები თავსდება კადრში, რომელსაც წინ უძღვის სინქრონიზაციის ბაიტები (ნახ.11).



ნახ. 11. მონაცემთა სინქრონული გადაცემის სტრუქტურა

1.1.7 SCADA სისტემის წარმადობა და მასზე მოქმედი ფაქტორები

სისტემის წარმადობა ზოგადი გაგებით განისაზღვრება როგორც, დროის ერთეულში შესრულებული ოპერაციების რაოდენობა. ის ხასიათდება შესრულებული სასარგებლო სამუშაოს ფარდობით დროსთან და გამოყენებულ რესურსებთან.

თანამედროვე SCADA სისტემების ნაკლოვანებას წარმოადგენს სწორედ წარმადობის შედარებით დაბალი დონე. მოცემულ ნაშრომში შემუშავებული მეთოდები და ალგორითმები ცხადყოფენ, რომ წარმადობის გაზრდა შესაძლებელია და მისი ამაღლების კონკრეტული გზები დამოკიდებულია უშუალოდ იმ პროცესის ბუნებაზე, რომლის ავტომატიზება (მართვა და მონიტორინგი) უნდა მოხდეს.

კონტექსტიდან გამომდინარე სისტემის წარმადობის შეფასება ხდება შემდეგი კრიტერიუმებით:

- მოცემულ სამუშაოზე რეაქციის მცირე დრო. (სამუშაოს შესრულების მოთხოვნის დამუშავება და პასუხის გაცემა უნდა მოხდეს სწრაფად.)
- საკომუნიკაციო არხებში მონაცემთა მაღალი გამტარუნარიანობა.
- სისტემაში გამოყენებული აპარატურული რესურსების გადატვირთულობის ხარისხი.
- აპარატურული და პროგრამული უზრუნველყოფის თანაზომადობა შესასრულებელ ამოცანებთან. (მათი დაგეგმარება უნდა მოხდეს ისე, რომ ნებისმიერ დროს შეეძლოს სისტემაში გენერირებული ამოცანებისთვის თავის გართმევა დაბრკოლებების გარეშე.)
- მონაცემთა კომპრესირების / დეკომპრესირების სისწრაფე და მოქნილობა.
- სისტემის კომპონენტებს შორის მონაცემთა გაცვლის სისწრაფე.

კომპიუტერული საკომუნიკაციო სისტემების წარმატება ფასდება ზემოთხსენებული ტექნიკური საზომებით / კრიტერიუმებით, ამ მეთოდების გამოყენებით შესაძლებელია:

- შედარდეს სხვადასხვა სისტემების წარმატება, ან ერთი სისტემის წარმატება მასში ცვლილებების / მოდიფიცირების განხორციელებამდე და შემდგომ.
- შეფასდეს სისტემის მიერ მასზე დაკისრებული მოვალეობების შესრულების ხარისხი, ანუ სათანადო სისწრაფით ასრულებს თუ არა სისტემა ამოცანებს და ართმევს თუ არა თავს შესაძლო წარმოქმნილ არასტანდარტულ / განსაკუთრებულ სიტუაციებს ისე, როგორც ეს უნდა ხდებოდეს.

არსებობს მთელი რიგი *ტექნიკური წარმატების* საზომები, რომლებიც მოქმედებენ მთელი კომპიუტერული საკომუნიკაციო სისტემის წარმატებაზე. ესენია:

- დროის ერთეულში (როგორც წესი - წამში) შესრულებულ ოპერაციათა/ზრძანებათა რიცხვი. მეხსიერების იერარქიული სტრუქტურა ასევე გავლენას ახდენს ამ მაჩვენებელზე და ზოგადად სისტემის წარმატებაზე.
- FLOPS - მცურავ-მძიმიან ოპერაციათა რაოდენობა წამში. განსაკუთრებით მნიშვნელოვანია იმ პროცესორების და სისტემებისთვის რომელთაც იყენებენ სამეცნიერო გამოთვლებისათვის.
- წარმატება სიმძლავრის ერთეულში (ვატი). ეს არის ენერგეტიკული ეფექტურობის საზომი კომპიუტერული და საკომუნიკაციო სისტემებისთვის. ის ზომავს კომპიუტერის მიერ შესრულებულ სამუშაოს ყოველ მოხმარებულ ერთ ვატზე. სიმძლავრის მოხმარების სხვადასხვა საზომები შეიძლება გამოყენებულ იქნას. მაგალითად, ერთი შეიძლება მხოლოდ ითვალისწინებდეს ელექტროენერგიას, რომელიც მიეწოდება გამომთვლელ სისტემას, მეორე კი - ყველა იმ

ენერჯიას რომელიც აუცილებელია სისტემის ფუნქციონირებისათვის, როგორცაა გამაგრებული და მონიტორინგის სისტემები. სისტემური ადმინისტრატორები პარალელური კომპიუტერების დაგეგმარებისას (მაგალითად Google) არჩევენ პროცესორებს მათი სწრაფქმედების მიხედვით ყოველ მოხმარებულ ერთ ვატზე. ამ ტიპის სისტემებში გამოთვლები მიმდინარეობს პარალელური სტრუქტურით. პრინციპი მდგომარეობს იმაში, რომ ხდება დიდი პრობლემის (დასმული ამოცანის) დაყოფა პატარა ნაწილებად და მათი ერთდროული, პარალელური შესრულება. პარალელური სტრუქტურის სხვადასხვა ფორმები არსებობს: ბიტის დონეზე, ბრძანების დონეზე, მონაცემთა სტრუქტურის დონეზე დაპარელელება.

- ხშირად ხდება სისტემების შეფასება მათი სწრაფქმედების მიხედვით ყოველ დახარჯულ დოლარზე.
- რეალური დროის რეჟიმის მხარდამჭერი აპარატურული რესურსების გამოყენება. (ამ ტიპის სისტემებში ამოცანაზე პასუხის დრო მკაცრად შეზღუდულია და შეადგენს რამოდენიმე მილი ან მიკროწამს.)
- წყვეტის შეყოვნების მცირე დრო (*interrupt latency*), იზომება დროით, რომელიც აითვლება წყვეტის მომენტიდან მანამ, სანამ წყვეტის მიზეზი არ იქნება დადგენილი და გამოსწორებული.
- გარემო ზემოქმედება- გამომთვლელ სისტემაში არსებული რესურსები მაქსიმალურად დაცული უნდა იწვნენ მავნე გარე ზემოქმედებისგან და მათი ექსპლუატაცია უნდა მოხდეს საპასპორტო მონაცემებით.
- ოპერატიული მეხსიერების განახლების სიხშირე.

თანამედროვე კომპიუტიზირებული საინფორმაციო სისტემები გამოირჩევიან რთული სტრუქტურით, რაც დაკავშირებულია კომპიუტერული ქსელების, განაწილებული სისტემების, ჰეტეროგენური მონაცემთა ბაზების არსებობასთან. ამასთან აუცილებელია დიდი

რაოდენობით ინფორმაციის ყოველდღიური კომპიუტერული სისტემების შეფერხება ან მწყობრიდან გამოსვლა იწვევს მთელ რიგ უხერხულობებს და უსიამოვნებებს მომხმარებლისთვის.

წარმადობის შემცირება განპირობებულია ორი ძირითადი მიზეზით.

1. ფუნქციონალური პრობლემები, როდესაც გარკვეული შემავალი სიდიდეებისთვის სწორი შედეგების (გადაწყვეტების) მიღება შეუძლებელია და 2. სისტემა გამართულად მუშაობს, მაგრამ მომხმარებლამდე შესაფერის დროის მონაკვეთში მისი მიწოდება ჭირს. მაგალითად, როცა საინფორმაციო სისტემას სჭირდება დიდი დრო ვიდრე ეს მომხმარებელთათვის არის სასურველი ითვლება რომ ეს სისტემა ნაკლები წარმადობით გამოირჩევა, მიუხედავად იმისა, რომ შეიძლება სწორ შედეგებს (რეზულტატებს) აჩვენებდეს.

მნიშვნელოვანია, რომ კომპიუტერული საინფორმაციო სისტემის დაგეგმარება-დაპროექტება მოხდეს ისე, რომ საბოლოო პროდუქტმა არ აჩვენოს არც ფუნქციონალური და არც წარმადობის მხრივ პრობლემები. საჭიროა, ასევე წინასწარ გაითვალოს წარმადობის შესაძლო მაჩვენებლები, ასევე პრობლემების წარმოშობის შემთხვევაში განისაზღვროს წარმადობის შემცირების დონე. ეს კი საჭიროებს წარმადობის მოდელების შემუშავებას. ამ მოდელის შემავალი სიდიდეებია: შესასრულებელი სამუშაოს მოცულობა, პროგრამული და აპარატურული კონფიგურაციის, გამოსაყენებელი რესურსების პარამეტრები - ხოლო გამომავალი სიდიდეებია: შეპასუხების დრო, მონაცემთა გაცვლის სისწრაფე და ქსელის გამტარუნარიანობა, სისტემების გადატვირთულობა, რიგების (შესასრულებელი ამოცანების წყება) ორგანიზაციის დონე. არსებობს წარმადობის შეფასების *ანალიტიკური, სიმულაციური და ჰიბრიდული მოდელები* [1].

ანალიტიკური შედგება განტოლებების ან ალგორითმებისაგან, რომლებიც საჭიროა შემავალი პარამეტრებიდან გამომავალი პარამეტრების გამოსაანგარიშებლად.

სიმულაციური მოდელი დაფუძნებულია კომპიუტერულ პროგრამებზე, რომლებიც აკეთებენ სისტემის მუშაობის ემულაციას. ეს ასევე კარგია ინდივიდუალური მოწყობილობების და მთლიანად სისტემის შესახებ სტატისტიკური ინფორმაციის დასაგროვებლად დაგეგმარების პროცესში.

ჰიბრიდული მოდელი წარმოადგენს ამ ორი მოდელის მიდგომების ერთიანობას. მაგალითად, ანალიტიკური მოდელის ქვესისტემის ჩანაცვლება როდესაც ხდება ექვივალენტური სისტემით, რომლის ქმედება პროგნოზირდება სიმულაციებით.

წარმადობის შეფასების მოდელები შეიძლება იყვნენ ზუსტი ან მიახლოებითი. ეს უკანასკნელი საჭიროა იმ შემთხვევაში, როდესაც არ არსებობს პრობლემის ცნობილი მათემატიკური გადაწყვეტა ან ეს ძალიან რთულია. დღეისათვის უფრო გავრცელებულია სწორედ მიახლოებითი მოდელები, რადგან მულტიპროცესორული, კლიენტ-სერვერული, განაწილებული სისტემებისა და ქვესისტემების ერთობლიობას წარმოადგენს თანამედროვე კომპიუტერული საინფორმაციო სისტემა.

კომპლექსური პროგრამული უზრუნველყოფების შექმნა-დაგეგმარება დროში გაწელილი და ძვირადღირებული პროცედურაა. ამიტომ წარმადობის მოდელირების ტექნოლოგიები ინტეგრირებული უნდა იქნეს მათი დაპროექტების მეთოდოლოგიაში. ერთი მიზანი არის პროგრამული უზრუნველყოფის მიერ რესურსების მოხმარების ტენდენციების შეფასება ისე, რომ წარმადობის მოდელმა გავლენა იქონიოს მათ არქიტექტურაზე. უკეთესი შეფასებები და სტატისტიკა კი მიიღება უშუალოდ მათი გამოყენების პროცესის მსვლელობისას.

SCADA სისტემების პროექტირებისას განსაკუთრებული მნიშვნელობა ექცევა წარმადობასთან დაკავშირებულ საკითხებს. თავიდან უნდა განისაზღვროს სისტემის რა კონკრეტული მახასიათებლებია მნიშვნელოვანი მომხმარებლისთვის. პრაქტიკა აჩვენებს, რომ უმრავლეს

შემთხვევებში ინჟინრები უპირატესობას ანიჭებენ შემდეგ თვისებებს: **(1) საიმედოობა** - ავტომატიზაციის სისტემის მნიშვნელოვანი პარამეტრია, განსაკუთრებით შემსრულებელი მოდულების შემთხვევაში. ეს არის მათი უნარი / შესაძლებლობა დიდი ხნის განმავლობაში იმუშაონ მტყუნების გარეშე. სურვილის შემთხვევაში შესაძლებელია ცალკე შეფასდეს ინსტრუმენტალური კომპონენტების საიმედოობა, ცალკეული მოდულების ერთმანეთთან ურთიერთკავშირის საიმედოობა, მონაცემთა არქივირების სისტემის საიმედოობა და ასევე სისტემის ცალკეული კომპონენტების დაცულობის დონე არასანქცირებული გარე თუ შიდა წვდომებისგან თუ მომხმარებლის მხრიდან არაადეკვატურ ქმედებებთან მიმართებაში. **(2) კონტროლერების და მოწყობილობების დრაივერები** - სასურველია SCADA სისტემას ჰქონდეს სხვადასხვა ტიპი მოწყობილობებთან მუშაობის შესაძლებლობა. **(3) სისტემა Softlogic** - კონტროლერების პროგრამირების სისტემა. SCADA- სთვის მისი ინტეგრაცია დიდი პლიუსია. ეს სისტემა მომხმარებელს საშუალებას აძლევს დააპროგრამოს კონტროლერები, ცალკე განსაკუთრებული ცოდნის და პროგრამისტების მოწვევის გარეშე. ასევე საშუალებას იძლევა შემცირდეს პროგრამის შემუშავების დრო კონტროლერსა და კომპიუტერს შორის ავტომატური კავშირის ხარჯზე. ასევე გაიმართოს პროგრამული უზრუნველყოფა სიმულაციის რეჟიმში, რეალური მოწყობილობის არსებობის გარეშე. **(3) გამმართველი (საკომპილაციო) გარემო** - იძლევა ალგორითმების მარტივად პროგრამულას გამართვის საშუალებას. კარგი ჩაშენებული ემულატორ-კომპილატორი რამოდენიმეჯერ აჩქარებს პროექტის შემუშავებას და საშუალებას იძლევა პროგრამული უზრუნველყოფის დიდი ნაწილი შეიქმნას წინასწარ აპარატურის არარსებობის შემთხვევაშიც. **(4) წარმადობა დროის რეალურ რეჟიმში**- ეს არის კრიტიკული პარამეტრი სწრაფი პროცესების ავტომატიზებისათვის, აგრეგატების სამართავად, მონაცემთა დიდი ნაკადების არქივირებისათვის, განსაკუთრებით კი მასშტაბური განაწილებული სისტემებისათვის. **(5) ცხელი რეზერვირება** - აუცილებელი

ფუნქციაა წარმოების სასიცოცხლოდ მნიშვნელოვანი ნაწილების და დიდი სისტემების ავტომატიზებისათვის. **(6) გრაფიკული შესაძლებლობები** - თანამედროვე SCADA სისტემა აღჭურვილი უნდა იყოს მაღალი დონის გრაფიკული რედაქტორით ორ და სამგანზომილებიანი ასევე ანიმაციური მნიშვნელობების შესაქმნელად. **(7) ჩაშენებული ბიბლიოთეკები** - აჩქარებენ გრაფიკული ეკრანების შექმნას უკვე წინასწარ გამზადებული და სისტემაში ჩადებული გრაფიკული ელემენტების ხარჯზე. რაც უფრო დიდია ბაზა, მით მეტია ალბათობა იმისა, რომ მომხმარებელი იპოვის მისთვის საჭირო გამოსახულებას, რომელსაც გამოიყენებს სხვადასხვა ტიპის პროცესების ავტომატიზაციაში. ეს არამარტო ამცირებს პროექტის შემუშავების დროს, არამედ გრაფიკულ მხარეს, დიზაინს თვისობრივად მაღალ ხარისხში აიყვანს. **(8) განაწილებული სისტემების ავტომატიზების შესაძლებლობა** - კლიენტ-სერვერული არქიტექტურა, კავშირის და შეერთების სტანდარტული პროტოკოლები, ცალკეულ კვანძებს შორის ინფორმაციის გაცვლის სიმარტივე და გამჭვირვალობა- ეს ის ასპექტებია, რომელთა გარეშე თანამედროვე ავტომატიზაციის სისტემა უფუნქციოა. **(9) ანგარიშების გენერირება** - კარგია, როცა ეს გენერატორი მოყვება SCADA სისტემას. მეორეს მხრივ შესაძლოა გამოყენებულ იქნას სხვა საშუალებები, როგორცაა მაგალითად მონაცემთა არქივირება დროის რეალურ რეჟიმში, სადიცანაც მონაცემთა ამოკითხვა შესაძლებელია სპეციალიზებული უტილიტების საშუალებით რომლებიც რეალიზებულია სხვადასხვა დაპროგრამების ენებზე კონკრეტული ამოცანის გადასაჭრელად. **(10) სისტემის გახსნილობა** - სისტემა გახსნილია, თუ მისთვის აღწერილი და განსაზღვრულია მონაცემთა ტიპები და პროცედურული ინტერფეისი, რაც საშუალებას იძლევა მასთან დაკავშირდეს გარეშე, დამოუკიდებლად მომუშავე კომპონენტები. მართვის ავტომატიზირებული სისტემების შემქმნელებისთვის ყოველთვის დგას საკუთარი პროგრამული მოდულების შექმნის და მათი ერთიან ავტომატიზებულ სისტემაში ჩართვის ამოცანა. ამიტომ SCADA სისტემის გახსნილობას დიდი მნიშვნელობა აქვს,

პრაქტიკულად ეს ნიშნავს სისტემური კომპონენტების სხვადასხვა სპეციფიკაციებთან წვდომას, რომლების ასრულებენ სხვადასხვა ფუნქციებს. ეს შეიძლება იყოს, გრაფიკულ ან მონაცემთა ბაზებთან წვდომის საშუალებები.

SCADA სისტემების უმრავლესობა აღჭურვილია ჩამწებული პროგრამული ინსტრუმენტებით, როგორცაა Vbasic, C++, რომლებიც საშუალებას იძლევიან მოხდეს მოვლენებზე შესაბამისი რეაქცია, ისეთებზე როგორცაა ცვლადების მნიშვნელობების ცვლილება. ლოგიკური პირობების ზღვრული მნიშვნელობების მიღწევა, და ა.შ.

დისპეტჩერული მართვისა და კონტროლის ავტომატიზებული სისტემის ერთ-ერთი ძირითადი ამოცანაა მონაცემთა დამუშავება: შეგროვება, ანალიზი, შენახვა, შეკუმშვა, გადაგზავნა. ასეთ სისტემებში აუცილებელია მოქნილი მონაცემთა ბაზების არსებობა. SCADA სისტემებს გააჩნიათ თანამედროვე SQL ბაზების და სინტაქსის მხარდაჭერა, რომელიც მონაცემთა ტიპებზე არ არის დამოკიდებული.

მართვისა და კონტროლის ეფექტური და წარმადი SCADA სისტემა აუცილებლად საჭიროებს წინასწარ სწორ და მიზანმიმართულ დაგეგმარებას. კომპონენტები, რომელთაც განსაკუთრებული ყურადღება უნდა მიექცეს ჩამოთვლილია ქვემოთ:

- მთლიანი სისტემის არქიტექტურის შემუშავება. ამ ეტაპზე განისაზღვრება ავტომატიზაციის სისტემის კვანძების ფუნქციონალური დანიშნულებები.
- განაწილებულ არქიტექტურასთან დაკავშირებული საკითხების გადაჭრა.
- თითოეული კვანძისათვის გამოყენებითი პროგრამული მართვის სისტემის შექმნა. ეს მოიცავს ალგორითმების შემუშავებას, რომელთა ერთობლიობა წყვეტს ავტომატიზაციის პრობლემას.

- სამართავი სისტემის თავსებადობა ინფორმაციის სტრუქტურასთან, რომელიც იცვლება დაბალი დონის მოწყობილობებს შორის. მაგალითად, პროგრამულ ლოგიკურ კონტროლერსა და გარე სამყაროს, კერძოდ შემსრულებელ მოდულებს, გადამცემებს შორის.
- შემუშავებული სისტემის ტესტირება სიმულაციის რეჟიმში.

წარმოების ნებისმიერ სფეროში ტექნოლოგიური პროცესების მართვა და მონიტორინგი მიმდინარეობს კომპიუტერულად, SCADA ტექნოლოგიების ბაზაზე. ყველა ლოგიკურად შემუშავებული სისტემა შეიცავს მომხმარებლისთვის დახვეწილ პროგრამულ უზრუნველყოფას, საგანგაშო და განსაკუთრებულ სიტუაციებზე რეაგირების და მართვის მექანიზმებს, დროის რეალურ რეჟიმში საწარმოო ციკლის მიმდინარეობის შესახებ დიაგრამების გენერირებას, რაც საბოლოო ჯამში ემსახურებას საწარმოო პროცესის უსაფრთხოებას და მოგების გაზრდას.

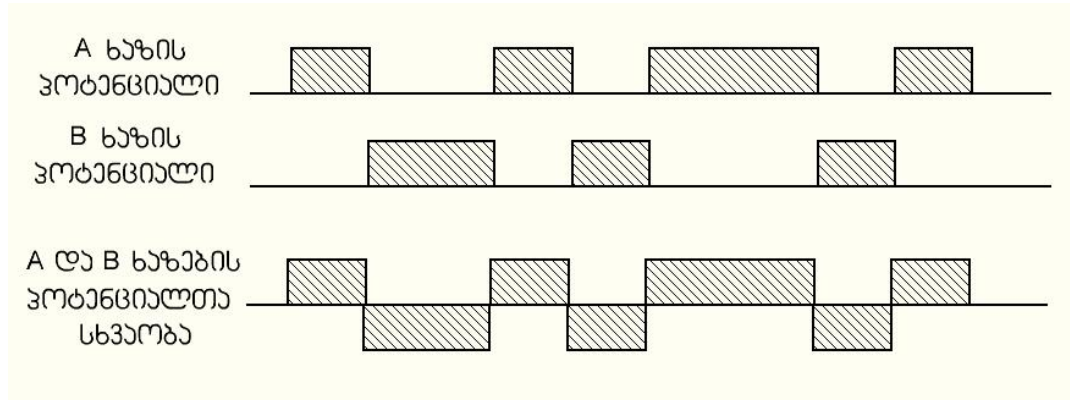
2. შედეგები და მათი განსჯა

2.1 იულისხის კრისტალური სპექტრომეტრის მართვისა და მონიტორინგის SCADA სისტემის არქიტექტურა

2.1.1. ინტერფეისი RS-485

კრისტალური სპექტრომეტრის მართვისა და მონიტორინგის SCADA სისტემაში მონაცემთა გადასაცემად გამოყენებულია ინტერფეისი RS-485, რომელიც წარმოადგენს ფიზიკური დონის კავშირის ერთ-ერთ ყველაზე გავრცელებულ სტანდარტს [7].

RS-485 ინტერფეისის საფუძვლად უდევს მონაცემთა დიფერენციალური (ბალანსური) გადაცემის პრინციპი. მონაცემთა დიფერენციალური გადაცემის დროს ერთი სიგნალის გადაცემა ხდება ორი ხაზის მეშვეობით. ერთი ხაზით (პირობითად A) გადაიცემა სიგნალის ორიგინალი, ხოლო მეორე ხაზით (პირობითად B) სიგნალის ინვერსია.



ნახ. 12. მონაცემთა დიფერენციალური გადაცემა

სხვა სიტყვებით რომ ვთქვათ, თუ A ხაზით გადაიცემა 1, B ხაზით გადაიცემა 0 და პირიქით.

ამგვარად ხაზების წყვილს შორის ყოველთვის არსებობს პოტენციალთა სხვაობა: 1-ის გადაცემის დროს ის არის დადებითი, ხოლო 0-ის გადაცემის დროს – უარყოფითი (ნახ. 12).

სწორედ ამ პოტენციალთა სხვაობის მეშვეობით ხდება სიგნალის გადაცემა. სიგნალების გადაცემის ამგვარი მეთოდი განაპირობებს მაღალ საიმედოებას სინფაზური შეშფოთებების მიმართ. სინფაზური არის შეშფოთება, რომელიც ორივე გადამცემ ხაზზე ერთნაირ გავლენას ახდენს. მაგალითად ელექტომაგნიტური ტალღა, რომელიც გადის გადამცემი ხაზის მონაკვეთზე, აღძრავს პოტენციალს ორივე გადამცემ ხაზზე.

თუ სიგნალი გადაიცემა ერთ ხაზში არსებული პოტენციალის ფარდობით საერთო პოტენციალთან (როგორც ეს ხდება RS-232 ინტერფეისში), მაშინ სინფაზურმა შეშფოთებამ შესაძლოა დაამახინჯოს ამ ხაზში გამავალი სიგნალი. დიფერენციალური გადაცემის დროს კი სიგნალის დამახინჯება არ ხდება. ჩვენს შემთხვევაში გადამცემი ხაზები განლაგებულია ერთმანეთის სიახლოვეს და გადაგრეხილია ერთმანეთში, რის გამოც შეშფოთებების ზეგავლენა ორივე ხაზზე ერთნაირია, ორივეგან პოტენციალი იცვლება ერთნაირად, ხოლო საინფორმაციო (სიგნალის გადამცემი) პოტენციალთა სხვაობა არ განიცდის ცვლებას [7, 11].

RS-485 კი ნახევრადდუპლექსური რეჟიმია. მონაცემთა მიღება და გადაცემა ხდება კავშირის ხაზების ერთი წყვილის მეშვეობით დროში განაწილებულად. ასეთ ქსელში შესაძლებელია ბევრი გადამცემის არსებობა, რადგან შესაძლებელია მათი გამორთვა მიღების რეჟიმის დროს.

მართვისა და მონიტორინგის სისტემაში გამოყენებული ყველა მოყვობილობა შეერთებულია ერთ კავშირის არხთან. პირდაპირი გამოსასვლელები A ერთდება ერთ ხაზთან, ხოლო ინვერსიული გამოსასვლელები B – მეორე ხაზთან. RS-485-ს სპეციფიკაციის თანახმად ერთ გადამცემს შეუძლია მუშაობა 32 მიმღებთან, რაც ჩვენს შემთხვევაში საკმარისია. RS-485 ინტერფეისში რეალიზებული კავშირის მაქსიმალური სიჩქარე შეადგენს 10 მბიტ/წმ-ს, ხოლო კავშირის ხაზის მაქსიმალური სიგრძე – 1200 მეტრს. სისტემის პროექტირებისას RS-485 ინტერფეისის ტექნიკური საშუალებების ბაზაზე, გათვალისწინებულ იქნა მთელი რიგი ფაქტორები, რომელთაგან უმთავრესია: მიმღებებისა და გადამცემების

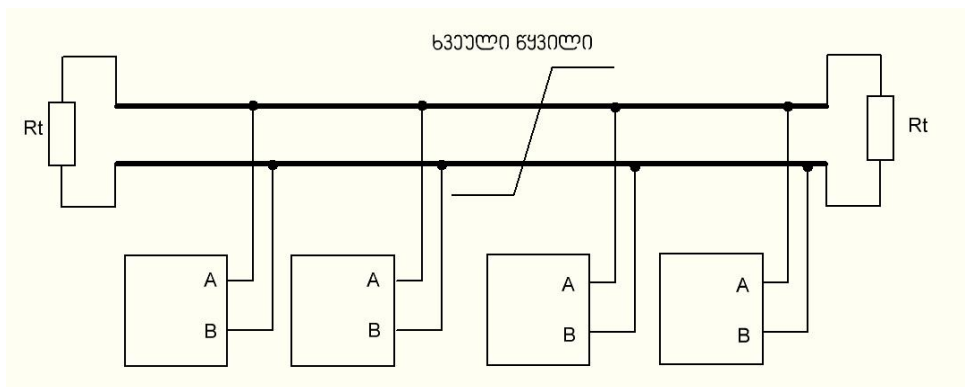
რაოდენობა, მონაცემთა გადაცემის სიჩქარე, ტექნიკური საშუალებების გაერთიანების მეთოდი და კავშირის ხაზის მაქსიმალური სიგრძე [11, 13].

ქვემოთ წარმოდგენილ ცხრილში ნაჩვენებია RS-485 ინტერფეისების ძირითადი პარამეტრები.

პარამეტრი	RS-485
მიმღებ/გადამცემების მაქსიმალური დასაშვები რაოდენობა	32/32
კაბელის მაქსიმალური სიგრძე	1200 მ
კავშირის მაქსიმალური სიჩქარე	10 მბიტი/წმ
ლოგიკური „1“-ის დიაპაზონი გადამცემისათვის	+1.5... +6 ვ
ლოგიკური „0“-ის დიაპაზონი გადამცემისათვის	-1.5... -6 ვ
გადამცემის სიმფაზური ძაბვის დიაპაზონი	-1... +3 ვ
გადამცემის დასაშვები ზღვრული ძაბვის დიაპაზონი	-7... +12 ვ
მიმღების მგრძობიარობის ზღვრული დიაპაზონი	± 200 მვ
მოკლე ჩართვის მაქსიმალური დენი	250 მა
გადამცემის დატვირთვის დასაშვები წინაღობა	54 ომი
მიმღების შემავალი წინაღობა	12 კომი
გადამცემის სიგნალის მატების მაქსიმალური დრო	ბიტის 30%

ცხრილი 1. RS-485 ინტერფეისის ძირითადი პარამეტრები

RS-485 ინტერფეისის ბაზაზე აგებული ქსელი წარმოადგენს კავშირის ხაზის მეშვეობით დაკავშირებული მიმღებ/გადამცემების ერთობლიობას (ნახ. 13). კავშირის ხაზის სახით გამოყენებულია ხვეული წყვილი.

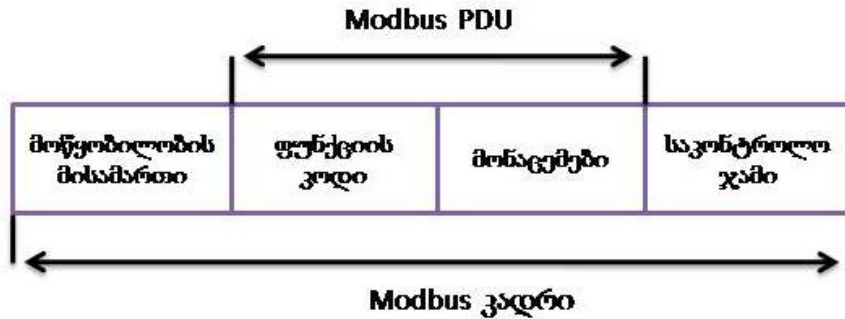


ნახ. 13. ხვეული წყვილის არქიტექტურა

2.1.2 Modbus პროტოკოლი. მონაცემთა გადაცემის ორი რეჟიმი და მათი შედარებითი ანალიზი

პროტოკოლი არის წესების ნაკრები, რომელთა საფუძველზე საინფორმაციო სისტემებში ხდება მონაცემების გადაცემა. იულიხის კრისტალური სპექტრომეტრის მართვისა და მონიტორინგის SCADA სისტემაში გამოყენებულია Modbus პროტოკოლი. ამ ტიპის პირველი ქსელები დაფუძნებულნი იყვნენ კავშირის მიმდევრობით ასინქრონულ არხებზე და მიიღეს სახელწოდებები Modbus RTU და Modbus ASCII. ფიზიკურ დონეზე ისინი იყენებენ სტანდარტულ მიმდევრობით ინტერფეისებს მონაცემთა სიმბოლოების სახით გადაცემის პრინციპით. ვინაიდან Modbus RTU/ ASCII გააჩნია სალტური ტოპოლოგია, **განსაზღვრულია სალტეზე წვდომის მეთოდი: წამყვანი/მიმყოლი. წამყვანის პროცესი ყოველთვის არის კლიენტური, ხოლო მიმყოლი მოწყობილობის პროცესი-სერვერული** [9,10]. ეს იმას ნიშნავს, რომ წამყვანი აგზავნის მოთხოვნებს, ხოლო მიმყოლი ამუშავებს. ეს მოთხოვნა შეიძლება მიმართული იყოს როგორც ინდივიდუალური, ასევე ყველა მიმყოლი მოწყობილობისკენ. ყოველ მიმყოლ მოწყობილობას აქვს უნიკალური მისამართი (ზოგადად 1-247-მდე. ჩვენს შემთხვევაში გამოყენებულია 6 მიმყოლი მოწყობილობა მისამართებით 1 დან 6-ის ჩათვლით), წამყვანი არ მისამართდება. ინდივიდუალური მოთხოვნებისას, წამყვანი (კლიენტ პროცესი) აფორმირებს კადრს მოთხოვნით და აგზავნის მითითებულ მისამართზე. მიმყოლი (დაქვემდებარებული) მოწყობილობა (სერვერული პროცესით) იღებს ამ კადრს და ამუშავებს მას. დამუშავების შემდეგ მიმყოლი აფორმირებს კადრს პასუხით და უკან უგზავნის წამყვან მოწყობილობას. პასუხის კადრი ასევე შეიცავს დასტურის ფუნქციებს, რომელსაც წამყვანი ელოდება *ტაიმ-აუტის* პერიოდის განმავლობაში. ფართოსამაუწყებლო მოთხოვნების შემთხვევაში გამოიყენება ნულოვანი მისამართი, ისინი როგორც წესი დასტურს არ საჭიროებენ.

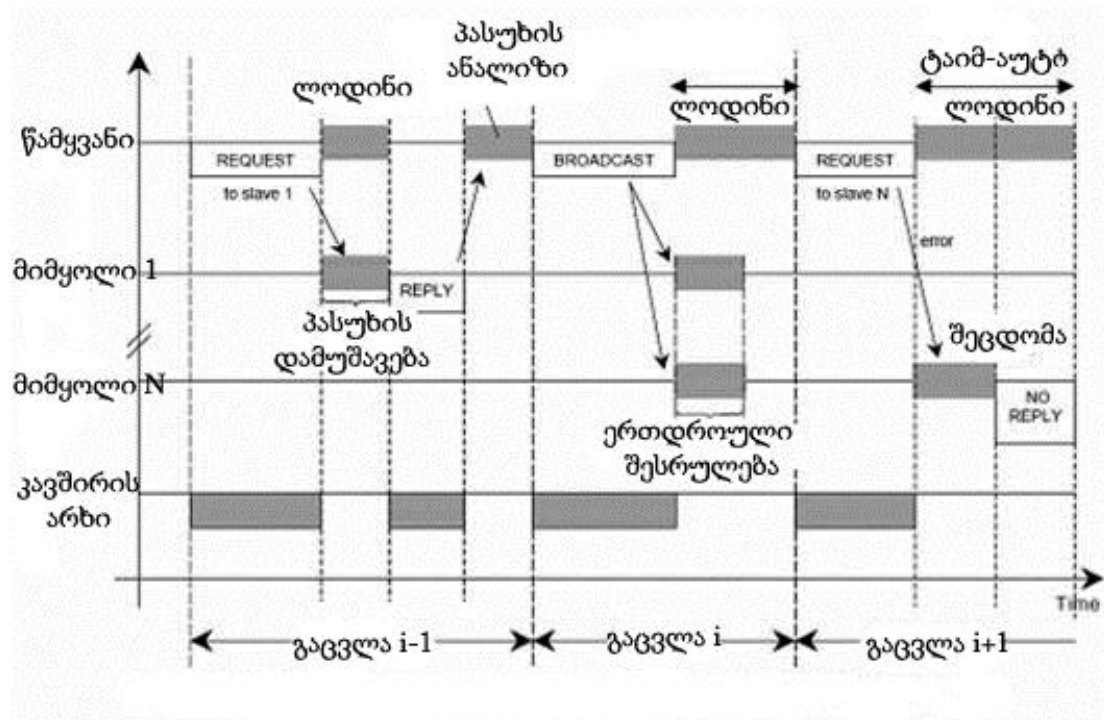
ნახ. 14-ზე ნაჩვენებია Modbus-ის საერთო კადრი. აღსანიშნავია, რომ კადრებს შორის საზღვრები და საკონტროლო ჯამის ტიპი აქ არ არის მითითებული, ვინაიდან ეს დამოკიდებულია გადაცემის RTU/ ASCII



ნახ. 14. Modbus პროტოკოლის საერთო კადრის სტრუქტურა

რეჟიმზე. მოთხოვნის გაცემის შემთხვევაში მოწყობილობის მისამართში მიეთითება მიმღების მისამართი, ხოლო პასუხის შემთხვევაში იმ მოწყობილობის მისამართი, რომელიც გასცემს პასუხს.

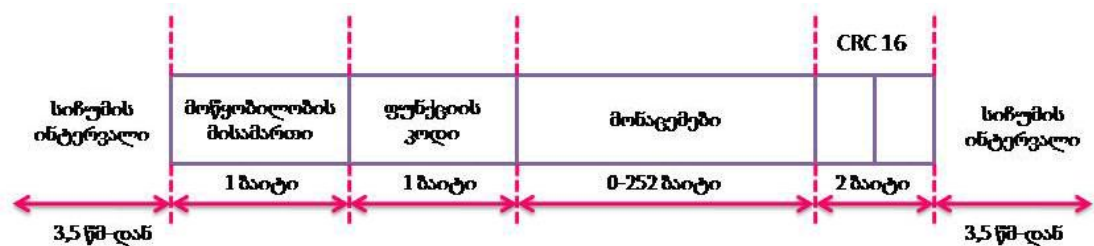
ნახ. 15-ზე გამოსახულ დროით დიაგრამაზე ნაჩვენებია წამყვანი-მიმყოლი მოწყობილობის მუშაობის სამი მოდელი Modbus ბაზაზე. პირველი - ერთმისამართიან რეჟიმში მონაცემთა ტიპური გაცვლა; მეორე-



ნახ. 15. Modbus პროტოკოლით მონაცემთა გაცვლის დროითი დიაგრამა

ფართოსამაუწყებლო; მესამე - მიმყოლი მოწყობილობის რეაქცია საკომუნიკაციო შეცდომაზე.

Modbus RTU რეჟიმი (ნახ. 16) ითვალისწინებს მონაცემთა 8 ბიტს 11 ბიტის სიმბოლოში, რომელიც იძლევა სიმბოლოთი ბაიტის გადაცემის საშუალებას. სიმბოლოს ფორმატი: 1 სასტარტო ბიტი, მონაცემთა 8 ბიტი (უმცროსი გადაცემა პირველი), ლუწობის 1 ბიტი +1 სტოპ ბიტი ან ლუწობის გარეშე +2 სტოპ ბიტი. (1+8+1+1=11). კადრის ფორმატი ნაჩვენებია ნახ.3 -ზე. კადრებს შორის ინტერვალი განისაზღვრება სიმბოლოებს შორის პაუზით. ახალი კადრი არ უნდა გამოჩნდეს სალტეზე 3,5* TC დროზე ადრე, სადაც TC არის ერთი სიმბოლოს გადაცემის დრო. თუ არხზე სიგნალის არარსებობას ადგილი ექნება 1,5 * TC -ზე მეტხანს, მაშინ მიმღები ჩათვლის რომ ეს კადრის დასასრულია. მეორეს მხრივ კადრის 3,5* TC-ზე ადრე გამოჩენას შეცდომამდე მივყევართ.



ნახ. 16. Modbus RTU კადრის ფორმატი

მოწყობილობის მისამართის და ფუნქციის კოდის ველები იკავებენ 1 ბაიტს, რამდენადაც ყოველი ბატი გადაეცემა 1 სიმბოლო სახით. საკონტროლო ჯამის სახით გვაქვს 2 ბაიტი, რომელიც გამოითვლება CRC16 ალგორითმით [9, 10].

Modbus ASCII რეჟიმში მონაცემთა ყოველი ბაიტი გადაეცემა მათი თექვსმეტობითი მნიშვნელობის ორი ASCII სიმბოლოს სახით, ანუ 03₁₆ გადაეცემა როგორც სიმბოლოების „0“ და „3“ ASCII კოდების სახით (0110000 0110011). მონაცემთა ბაიტები, ფუნქციის კოდი და საკონტროლო ჯამის ველი გადაეცემა სიმბოლოს კოდების სახით 0-9, A-F. ASCII რეჟიმში

სიმბოლოს ფორმატია : 1 სასტარტო ბიტი, მონაცემთა 7 ბიტი (უმცროსი ბიტი გადაეცემა პირველად), ლუწობის 1 ბიტი+1სტოპ ბიტი ან ლუწობის გარეშე +2 სტოპ ბიტი [9, 10].

ASCII კადრის ფორმატი ნაჩვენებია ნახ. 17-ზე. კადრებს შორის საზღვრის სახით გამოიყენება „:“ სიმბოლო და დამამთავრებელი კოდი „CR LF“. კავშირის სალტეზე მიერთებული მიმღები მოწყობილობები აკონტროლებენ და ელოდებიან „:“ სიმბოლოს, რომელიც ერთმნიშვნელოვნად მიუთითებს კადრის დასაწყისზე. როცა მისი მიღება მოხდება, შემდეგ კონტროლდება მისამართის ველი, ფუნქციის კოდი და ა.შ. ეს არის სინქრონიზაციის უმარტივესი მეთოდი, რომელიც სიმბოლოებს შორის პაუზებისადმი არაკრიტიკულად მიდგომის (1 წმ-მდე) საშუალებას იძლევა. მიმყოლი მოწყობილობის და ფუნქციის კოდები იკავებენ 2 სიმბოლოს, რომელიც შეესაბამება 1 ბაიტის მნიშვნელობას. შემდეგ მოდის $n*2$ მონაცემთა სიმბოლოები, სადაც n მონაცემთა ბაიტების რაოდენობაა. საკონტროლო ჯამის გამოსათვლელად გამოიყენება LRC ალგორითმი.

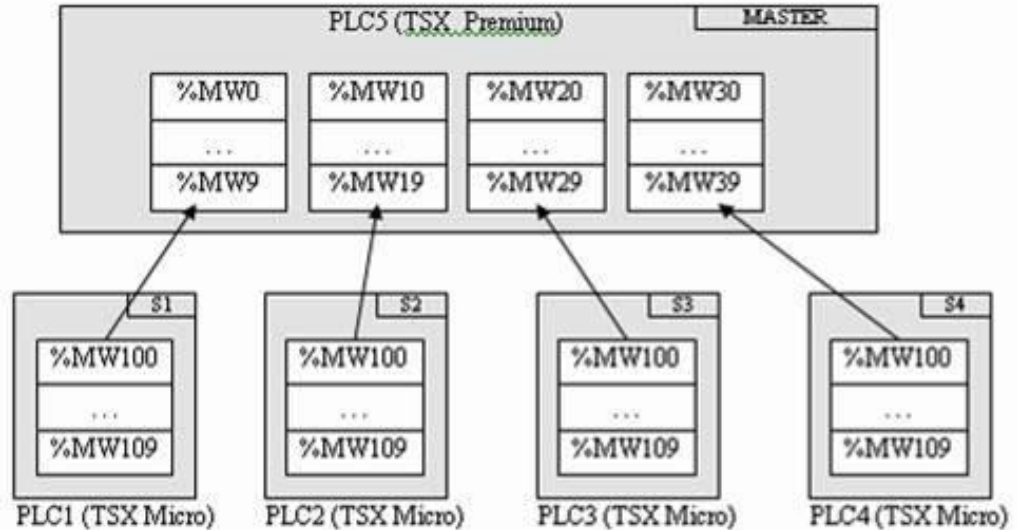


ნახ. 17. Modbus ASCII კადრის ფორმატი

ASCII რეჟიმს გააჩნია შედარებით ნაკლები მოთხოვნები გამოყენებულ მოწყობილობების მიმართ, სასტარტო და საბოლოო სიმბოლოების და მათ შორის მნიშვნელოვან პაუზებზე არამგრძნობიარობის გამო. მაგრამ ეს უპირატესობები იწვევს ასევე გარკვეულ უხერხულობებს, კერძოდ, RTU რეჟიმი კადრებს შორის ინტერვალისადმი უფრო მომთხოვნიანია, მაგრამ უფრო პროდუქტიული ვიდრე ASCII, ამიტომაც *ჩვენს შემთხვევაში არჩევანი გაკეთდა MODBUS-RTU რეჟიმზე.*

2.1.3. Modbus RTU რეჟიმში მოწყობილობათა გამოკითხვის დროის გამოთვლა

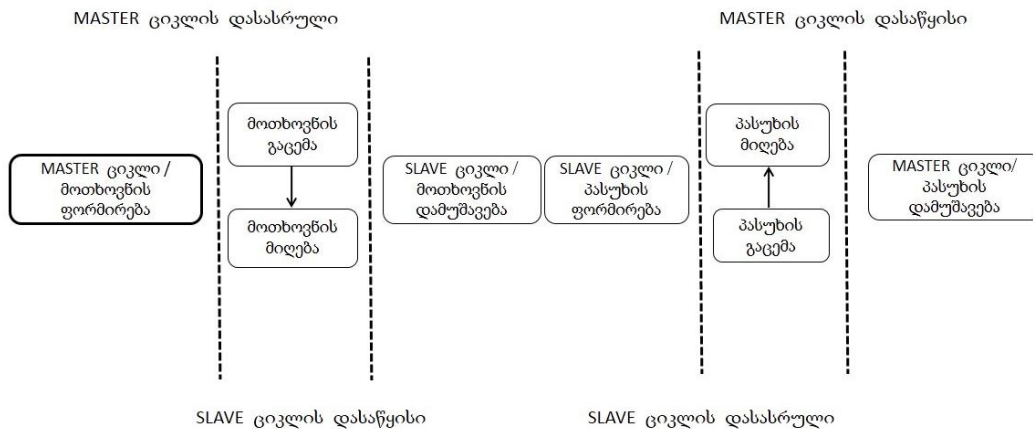
გამოვთვალოთ RTU რეჟიმში 4 მიმყოლი მოწყობილობის 10 თექვსმეტბიტანი რეგისტრის გამოკითხვის დრო.



ნახ. 18. მთავარი და მიმყოლი მოწყობილობების კავშირის სქემა

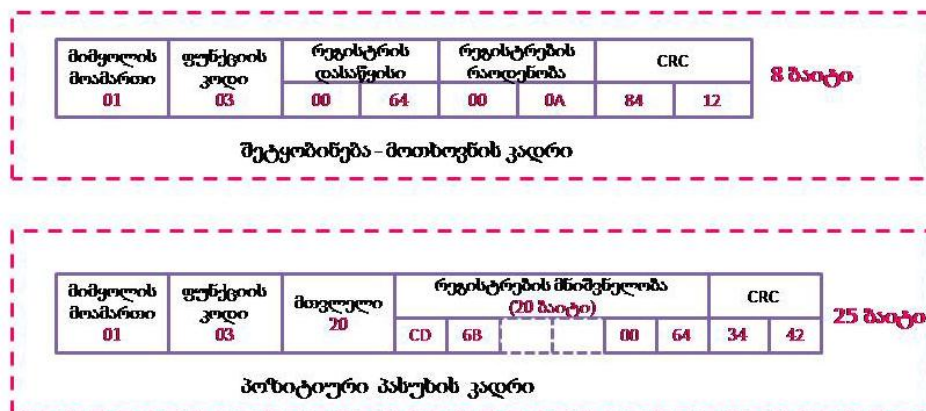
MODBUS პროტოკოლით შეტყობინებათა მიმდინარეობს საკომუნიკაციო ციკლების სახით. ციკლის არის მოსამზადებელი სამუშაოების / ოპერაციების ერთობლიობა, რომელიც საჭიროა შეტყობინების გასაგზავნად/ მისღებად. ციკლის ორი სახე არსებობს: **მთავარი მოწყობილობის/ MASTER ციკლი** და **მიმყოლის/ SLAVE ციკლი**. მოწყობილობები მოთხოვნებს/ შეტყობინებებს იღებენ ციკლის დასაწყისში და აგზავნიან ციკლის ბოლოს (ნახ. 19).

მონაცემთა გადაცემის სიჩქარე 19200 ბიტი/წმ-ია. წამყვანი მოწყობილობის კლიენტ პროცესი (TSX Premium) და მიმყოლი მოწყობილობის სერვერული პროცესები (TSX Micro) შეტყობინებებს იღებენ შესასრულებელი ამოცანის ციკლის დასაწყისში, ხოლო გადასცემენ ციკლის ბოლოს. წამყვანის ციკლი 10 მწმ-ია, ხოლო მიმღებისა - 5წმ.



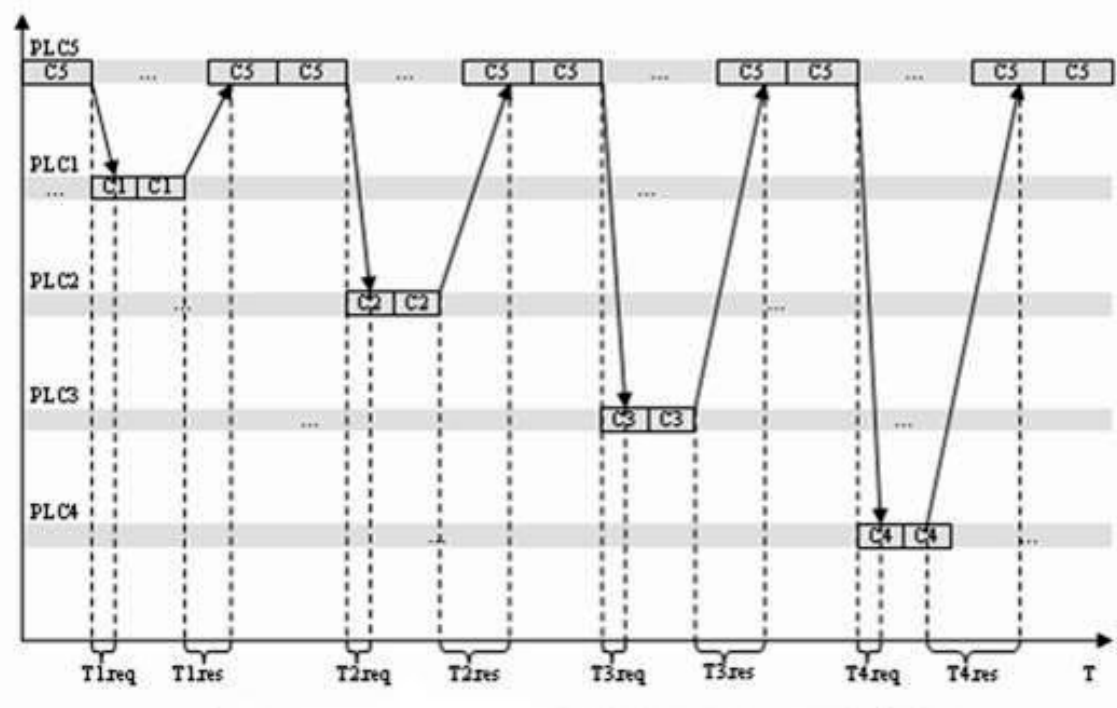
ნახ. 19. მთავარი და მიმყოლი მოწყობილობების საკომუნიკაციო ციკლების სტრუქტურა

TSX Micro შიდა ანალოგურ ცვლადებთან წვდომა ხორციელდება Modbus პროტოკოლის 03 და 04 ფუნქციებით, ამიტომ კადრის ფორმატი გამოიყურება ისე, როგორც ეს ნაჩვენებია ნახ. 20-ზე. კლიენტის მხრიდან შეტყობინება-მოთხოვნა ფორმირდება საკომუნიკაციო ფუნქციის ბაზაზე, მონაცემთა გადაცემა ხდება ამოცანის ციკლის ბოლოს, ხოლო მიღება - ციკლის დასაწყისში. აღსანიშნავია, რომ მოდბუს სერვერის რეალიზაცია შეიძლება მოხდეს საკომუნიკაციო მოდულების ბაზაზე, ხოლო მონაცემთა გაცვლა - საკომუნიკაციო ბუფერებით. ამ შემთხვევაში მოდბუს სერვერები



ნახ. 20. Modbus პროტოკოლში მოთხოვნა-პასუხის კადრის ფორმატი

იქნებიან გაცილებით სწრაფები და ციკლებზე არადაამოკიდებულნი. ნახ. 21 - ზე ნაჩვენებია, რომ კადრის მოსვლა ხდება ციკლის შუაში. ეს ნიშნავს იმას, რომ მათი დამუშავება და პასუხის გენერირება ხდება დაახლოებით 1.5 ციკლის შემდეგ. აღსანიშნავია, რომ ეს არის გასაშუალოებული მნიშვნელობა, უარესი შემთხვევისათვის უკეთესია ორი



ნახ. 21. Modbus პრიტოკოლით მოწყობილობის მოთხოვნა-პასუხის დროითი დიაგრამა

დროითი ციკლის რეზერვირება (ე.ი. როცა კადრი მოვიდა საკომუნიკაციო პორტის გამოკითხვისთანავე). ასე რომ, ერთი პროგრამულ - ლოგიკური კონტროლერისთვის (ჩვენს შემთხვევაში მიმყოლი მოწყობილობის) ტრანზაქციის (მოთხოვნა+შეპასუხება) დრო მაგ. პლკ1, გამოითვლება ასე:

$$TT1=C5+T1.მოთხოვნა+2*C1+T1.პასუხი+C5*2$$

მოცემულ ფორმულაში C5-ით აღნიშნულია მთავარი მოწყობილობა (ჩვენს შემთხვევაში პერსონალური კომპიუტერი, რომლის საკომუნიკაციო ციკლის ხანგრძლივობა 10 მწმ-ია), ხოლო C1-ით მიმყოლი მოწყობილობა, რომლის ციკლის ხანგრძლივობა 5 მწმ-ია.

TT1 გამონაგარიშებულია მიმყოლი მოწყობილობის მიერ პასუხის გენერირებისთვის დახარჯული 2 ციკლის გათვალისწინებით. თუ ტრანზაქცია ხდება არა პერიოდულად, როგორც ამას ამოცანა ითვალისწინებს, არამედ მოვლენის წარმოშობის მიხედვით, მაშინ ტრანზაქციის შემთხვევაში აუცილებელი იქნებოდა ასევე წამყვანი მოწყობილობის ციკლის გათვალისწინება [14, 15, 16]. რთული არ არის გამოვთვალოთ ყველა მიმყოლი მოწყობილობის გამოკითხვის დრო:

$$TT_{\text{ჯამური}} = C5 \cdot 9 + C1 \cdot 2 + C2 \cdot 2 + C3 \cdot 2 + C4 \cdot 2 + T1. \text{მოთხოვნა} + T1. \text{პასუხი} + T2. \text{მოთხოვნა} + T2. \text{პასუხი} + T3. \text{მოთხოვნა} + T3. \text{პასუხი} + T4. \text{მოთხოვნა} + T4. \text{პასუხი}$$

C5 -ით მოცემულ ფორმულაში აღნიშნულია წამყვანი მოწყობილობის ციკლი, C1 დან C4 მდე კი მიმყოლი მოწყობილობის ციკლის ხანგრძლივობა, *T.მოთხოვნა* შეესაბამება მოწყობილობის მიერ მოთხოვნის მიღების დროს, ხოლო *T.პასუხი* - მოწყობილობის მიერ პასუხის დამუშავების და მისი გაცემის დროს.

თუ ჩავთვლით, რომ მიმყოლი მოწყობილობების ციკლები ერთნაირია, ხოლო მოთხოვნების და პასუხების ციკლებს ყველა მიმყოლისთვის გააჩნიათ ერთნაირი სტრუქტურა, მაშინ საერთო ფორმულას შემდეგი სახე ექნება:

$$TT_{\text{ჯამური}} = C5 \cdot 9 + C1 \cdot 8 + (T1. \text{მოთხოვნა} + T1. \text{პასუხი}) \cdot 4;$$

გამოვთვალოთ T1.მოთხოვნა და T1.პასუხი დროები. კადრის გადაცემის დრო (Tframe) შეიძლება საორიენტაციოდ გამოითვალოს კადრში სიმბოლოების რაოდენობის (Nsymb) და ერთი სიმბოლოს გადაცემის დროის (Tsymb) მიხედვით:

$$T_{\text{frame}} = N_{\text{symb}} \cdot T_{\text{symb}};$$

ერთი სიმბოლოს გადაცემის დრო გამოითვლება ასე:

$$T_{\text{symb}} = \frac{\text{სიმბოლოში ბიტების რაოდენობა}}{\text{ბიტური სისწრაფე}};$$

კადრების გადაცემის დრო:

$$T1. \text{მოთხოვნა} = 8 * (11/19200) = 4,58 \text{ მწმ};$$

$$T1. \text{პასუხი} = 25 * (11/19200) = 14,33 \text{ მწმ};$$

$$TT_{\text{ჯამური}} = 90 + 40 + (4,58 + 14,33) * 4 = 206 \text{ მწმ};$$

მაშ ასე, 19200 ბიტი/წმ სისწრაფით 4 მიმყოლი მოწყობილობის 10 რეგისტრის გამოსაკითხად საჭიროა 206 მწმ. თუ აუცილებელია პერიოდული გამოკითხვა, სასურველია დავარეზერვოთ განსაზღვრული დამატებითი დრო, მაგალითად 100 მწმ. ერთი მიმყოლი მოწყობილობის 10 რეგისტრის ამოსაკითხად საჭიროა დაახლოებით 51 მწმ. 10 რეგისტრი აღებულია იმიტომ, რომ ერთ მიმყოლ მოწყობილობაში დაახლოებით 10 რეგისტრის ამოკითხვა ხდება დროის მცირე მონაკვეთში.

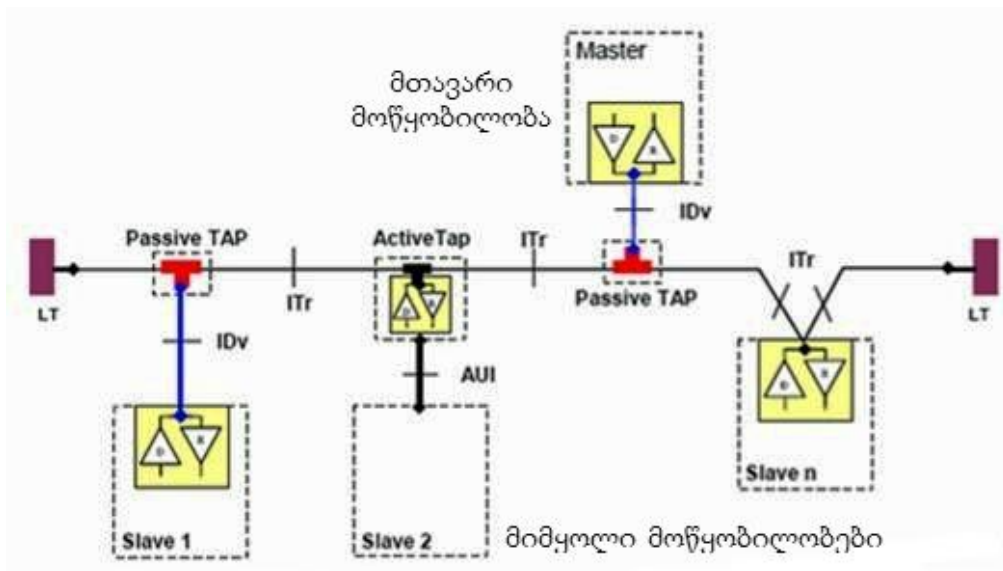
რიგ შემთხვევებში, Modbus-კლიენტის ფუნქციის რეალიზაცია დამოკიდებულია ოპერაციულ სისტემაზე, ხოლო წვდომა ხორციელდება ინტერფეისული საკომუნიკაციო ფუნქციებით. ძირითადად, ეს მახასიათებელია პროგრამული ლოგიკური კონტროლერების უმრავლესობისთვის (Schneider Electric, Momentum, Quantum, TSX Micro, TSX Premium, M340). სხვა სისტემების შემთხვევაში, გამოყენებით დონეზე კლიენტის მხარე მთლიანად უნდა განისაზღვროს პროგრამული ლოგიკური კონტროლერის პროგრამულ რეალიზაციაში, ხოლო ინტერფეისი განკუთვნილი იქნება მხოლოდ საკომუნიკაციო პორტთან მონაცემთა გაცვლისთვის. ამ შემთხვევაში, სისტემა მომხმარებელს სთავაზობს შეტყობინებათა გადაცემა-მიღების (რომლის ფორმირებას და ანალიზს უშუალოდ მომხმარებლის პროგრამა უზრუნველყოფს) და საკონტროლო ჯამის გენერირებისა და შემოწმების სერვისებს [17].

აღსანიშნავია, რომ Modbus სტანდარტში ასევე განისაზღვრება ქსელის ფიზიკურ დონეზე რეალიზაციის წესები. Modbus over Serial Line

ბაზირებულია იმდევრობითი RS-485, RS-422, RS-232 ინტერფეისების გამოყენებაზე [7, 11].

RS-485 თვის განსაზღვრული ტოპოლოგია ესაა სალტე, რომელზედაც შესაძლებელია მოწყობილობათა სამნაირი შეერთება (ნახ. 22).

- უშუალოდ მაგისტრალური (Trunk) კაბელით, განშტოებების გარეშე.
- შეერთების პასიური კოლოფით და განშტოებებით.
- შეერთების აქტიური კოლოფით და განშტოებების სპეციფიკური კაბელით.

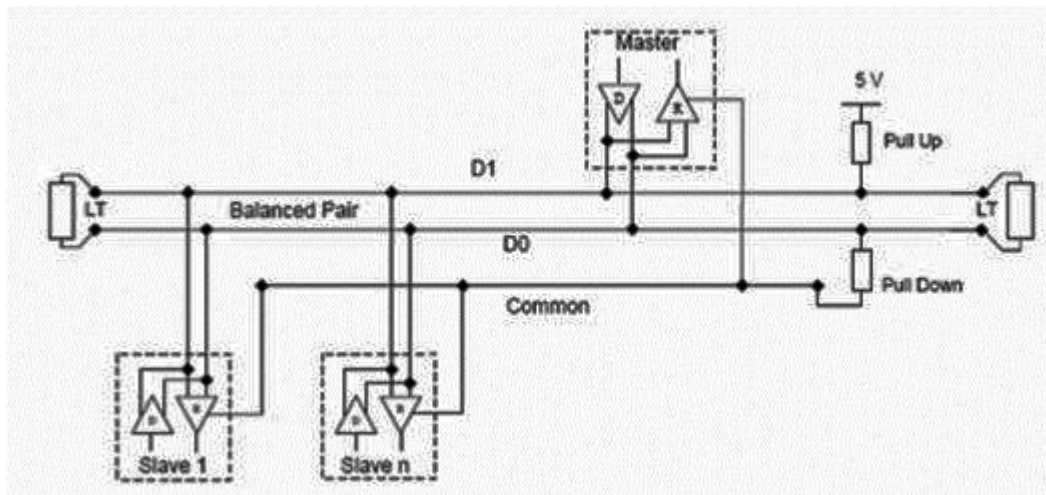


ნახ. 22. Modbus სალტის ინფრასტრუქტურა RS-485 ინტერფეისზე

კაბელისა და ქსელის ელემენტებს შორის ინტერფეისებს გააჩნიათ შემდეგი აღნიშვნები: ITr-მაგისტრალურ კაბელთან ინტერფეისი; IDv- პასიურ კოლოფსა და მოწყობილობას შორის ინტერფეისი; AUI-აქტიურ კოლოფსა და მოწყობილობას შორის ინტერფეისი; LT-კავშირის არხის ტერმინატორები; ბიტური სიჩქარეები განსაზღვრულია 9600 ბიტი/წმ და 19200 ბიტი/წმ სახით [7, 9];

RS-485 სტანდარტის გამოყენებისას განისაზღვრება მოწყობილობათა ჩართვის 2 და 4 გამტარიანი სქემა, ასევე მათი შეთავსებადობის ვარიანტი ერთიან კავშირის არხში;

იდეაში ორგამტარიანი მიერთება რეალურად სამგამტარიანია, ვინაიდან კავშირის A და B არხების გარდა გამოიყენება საერთო C არხი (ნახ. 23) [11];



ნახ. 23. RS-485 ინტერფეისზე მოწყობილობათა ორგამტარიანი მიერთება

ერთ RS-485 ინტერფეისზე მოწყობილობათა საერთო რაოდენობა განმეორებლების გარეშე შეზღუდულია და შეადგენს 32-ს. კაბელის მაქსიმალური სიგრძე დამოკიდებულია ტიპზე, მონაცემთა გადაცემის სიჩქარეზე, ქსელის კონფიგურაციაზე (ორ თუ ოთხგამტარიანი) და დატვირთვის მოცულობაზე. 9600 ბიტი/წმ სიჩქარისთვის რეკომენდებული კაბელის სიგრძეა 1000მ; განშტოების სიგრძე არ უნდა აღემატებოდეს 20მ-ს. საერთო სასიგნალო გამტარი უნდა იყოს ეკრანირებული სალტის ერთ წერტილში. ტერმინატორების გამოყენება შესაძლებელია მხოლოდ მაგისტრალზე. ტერმინატორების სახით შეიძლება გამოყენებულ იქნას:

- რეზისტორი ნომინალით 150 ომი და სიმძლავრით 0,5 ვატი.
- მიმდევრულად შეერთებული კონდენსატორი (1 ნანოფარადი, 10 ვოლტი) და რეზისტორი (120 ომი, 0,25 ვატი).

მოდბუს სტანდარტში განსაზღვრულია დამცავი სისტემის რეალიზება (პოლარიზაცია), რომლებიც ითვალისწინებენ 5 ვოლტი კვების შეერთებად D1 D0 არხებს შორის PullUp PullDown რეზისტორების ბაზაზე (ლოგიკური 1 იანის მხარდასაჭერად გადაცემის აარსებობის შემთხვევაში). რეზისტორების ნომინალები შეიჩევა 450-650 ომის საზღვრებში, რაც დამოკიდებულია მიერთებული მოწყობილობების რაოდენობაზე. დამცავი შეერთება კეთდება კავშირის არხის მხოლოდ ერთ წერტილში, როგორც წესი წამყვანი მოწყობილობის მხარეს. პოლარიზაციის შემთხვევაში მიერთებული მოწყობილობების საერთო რაოდენობა მცირდება 4-ჯერ არაპოლარიზების შემთხვევასთან შედარებით. პოლარიზაცია აუცილებელი არაა, მაგრამ ლოგიკური სიგნალის არარსებობის შემთხვევაში მოწყობილობები შეიძლება ერთმანეთთან კონფლიქტში მოვიდნენ.

დროის რეალურ რეჟიმში მომუშავე სისტემებში modbus პროტოკოლის გამოყენება დამოკიდებულია სისტემის უნარზე, შესაძლებლობაზე მოთხოვნაზე პასუხი გასცეს დროის განსაზღვრულ მონაკვეთში [6]. მოთხოვნილი წვდომის ციკლის დრო რეალური რეჟიმის აპლიკაციებში იყოფა სამ ძირითად დონედ: 1. *პროცესის მართვა/კონტროლი 100მწმ-1წმ*, 2. *დისკრეტული მართვა/კონტროლი 30მწმ-50მწმ*, 3. *მოქმედების კონტროლი 250 მკწმ*.

Modbus სისტემებში შეყოვნებების მინიმიზება განსაკუთრებით მნიშვნელოვანია Ethernet და Serial (მიმდევრობითი კავშირის) ქსელებში. შეყოვნების ძირითადი წყარო არის მონაცემთა გადაცემის დრო. მოწყობილობები საწარმოო ინდუსტრიაში იმართებიან მიმდევრული RS 232/422/485 ინტერფეისებით და modbus ASCII/ RTU პროტოკოლებით [9]. მიუხედავად იმისა რომ, მიმდევრობითი კავშირის საშუალებები შედარებით იაფია და მარტივი განსახორციელებლად, მათი საშუალებით მონაცემთა გადაცემის სიჩქარეები ნელია და მერყეობს 110-11520 ბიტი/წმ საზღვრებში. მაგ. 38400 ბიტი/წმ სიჩქარით 100 ბაიტის გადაცემას სჭირდება 26 მილიწამი ერთი მოწყობილობიდან მეორეში.

$$\frac{1 \text{ წმ}}{38400 \text{ ბიტი}} \times \frac{10 \text{ ბიტი}}{1 \text{ ბაიტი}} \times 100 \text{ ბაიტი 0} = 26 \text{ მწმ},$$

მონაცემთა ბიტების გარდა მიმდევრობითი გადაცემა მოიცავს ასევე დამატებით ბიტებს ლუწობაზე კონტროლის და შეტყობინების დაწყება/დამთავრების იდენტიფიცირებისთვის და ეს არის დაახლოებით 10 ბიტი მონაცემთა ყოველ ბაიტზე. უფრო მაღალი სიჩქარეების შემთხვევაში, მიმდევრობითი კავშირი კიდევ მეტ დაყოვნებებთანაა დაკავშირებული, რათა მხარი დაუჭიროს დროის რეალური რეჟიმის მოქმედებებს.

Ethernet გადაცემა მოიცავს განსხვავებული ტიპის დაყოვნებებს. TCP/IP პროტოკოლი განკუთვნილია ქსელების ურთიერდასაკავშირებლად სადაც თითოეული ქსელი იმართება და იწყობა პროგრამულ-აპარატურულად განსხვავებული კომპანიების და მწარმოებლების მიერ. ამ ქსელების არქიტექტურა ძალიან მდგრადი და კარგია და იძლევა სხვადასხვა ქსელის ელემენტებს შორის კავშირის ავტომატური აღდგენის საშუალებას. თუმცა ავტომატური რეგენერაციის ბუნება მდგომარეობს იმაში, რომ პრობლემები შეიძლება დარჩნენ იდენტიფიცირების და შესწორებების/გადაწყვეტების გარეშე დიდი ხნის მანძილზე ქსელში მონაცემთა გადაცემის სიჩქარის მიუხედავად. ამიტომ Ethernet ქსელში წარმოქმნილი დაყოვნებები წინასწარ არაპროგნოზირებადი და სამართავად ძნელია [9].

თეორიულად Ethernet დაყოვნებების მართვა შეუძლებელია, თუმცა შემუშავებულია პრაქტიკული გადაწყვეტები. გაუთვალისწინებელ დაყოვნებებს ადგილი აქვს, როცა დიდი რაოდენობით Ethernet ქსელის კომპონენტებს შორის არის რთული მარშრუტიზაციის სქემები. როდესაც კონტროლერები და მოწყობილობები უშუალოდ დაკავშირებულია ერთმანეთთან მაშინ დაყოვნებების მართვა და მათი ფიქსირებულ საზღვრებში შენარჩუნება შესაძლებელია [17]. პირდაპირი Ethernet კავშირის

დამყარება შესაძლებელია SCADA სისტემასა და პროგრამირებადი ლოგიკური კონტროლერის, ან განსაზღვრულ მზომ მოწყობილობას შორის, როცა მათ შორის სხვა აპარატურული საშუალებები არ გამოიყენება. 100 მეგაბიტი/წმ Ethernet გარემოში მონაცემთა 100 ბაიტისთვის გადაცემის დაყოვნება გამოითვლება შემდეგნაირად:

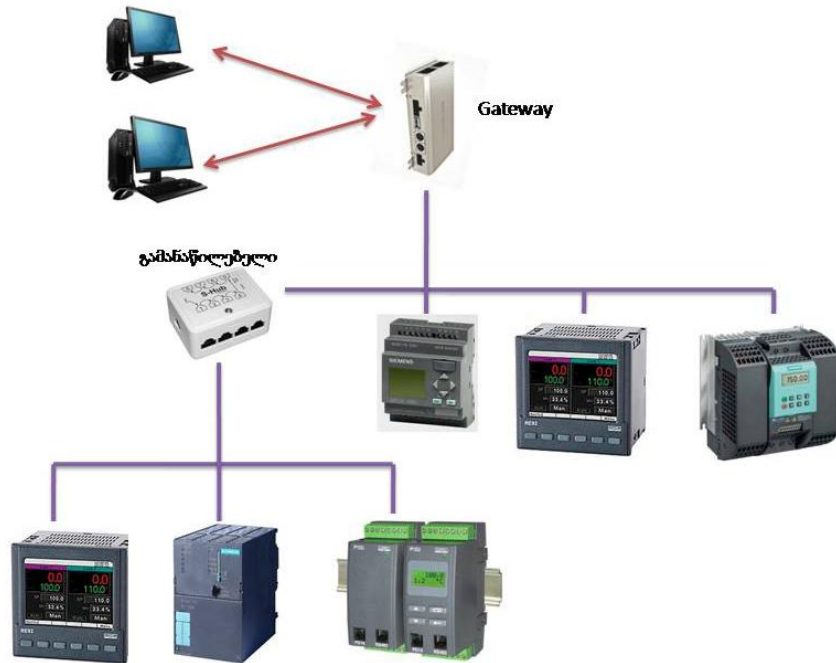
$$\frac{1}{100 \times 10^6} \times \frac{\text{8 ბიტი}}{\text{ბაიტი}} \times (100 \text{ ბაიტი} + 54 \text{ ბაიტი}) = 12,32 \text{ მიკროწამი}$$

ორ მოწყობილობას შორის მონაცემთა გადასაცემად როცა გამოიყენება გამოყოფილი მადალსიჩქარული Ethernet ქსელი, 100 ბაიტის მონაცემისთვის 54 ბაიტის მომსახურე ინფორმაციით გადაცემის დაყოვნება შეადგენს 12 მიკროწამს. უფრო რთული ქსელების შემთხვევაში დამატებითი მოწყობილობების (გამანაწილებლები და კონცენტრატორები) პირობებში, მონაცემთა გადაცემის შეყოვნება რათქმაუნდა გაიზრდება [17].

დღეისათვის გამოიყენება სხვადასხვა ახალი ტექნოლოგიები Ethernet დაყოვნებების მართვისათვის. დროის რეალური რეჟიმის Ethernet შეიძლება იმართოს სხვადასხვა სტანდარტებით რგორიცაა EtherCat, Ethernet Powerlink. ზოგი ამ სტანდარტთაგანი შეთავსებადია უკვე არსებულ Ethernet ქსელებთან, ნაწილი კი არა. თუმცა უნდა აღინიშნოს რომ, სტანდარტული Ethernet ტექნოლოგია მაინც ყველაზე გავრცელებულია მისი სიმარტივის და რეალიზაციის დაბალი ღირებულების გამო.

დროის რეალური რეჟიმის Ethernet ქსელის შემთხვევაშიც, გამოყენებულმა მოწყობილობებმა შეიძლება განაპირობონ არაპროგნოზირებადი დაყოვნებები. თანამედროვე წარმოებისთვის ტიპიური ქსელური ტოპოლოგია ნაჩვენებია ნახ. 24-ზე. ამ სურათზე ნაჩვენელი Fieldbus Gateway მოწყობილობა გამოიყენება მიმდევრობითი (Serial) მოწყობილობების SCADA სისტემასთან დასაკავშირებლად Ethernet ინტერფეისით. Gateway უზრუნველყოფს პროტოკოლების კონვერტაციას

(გარდაქმნას), რაც მოითხოვს მონაცემთა ფორმატების და შეტყობინებათა გადაცემის წესების გადათარგმნას [1,7].



ნახ. 24. თანამედროვე წარმოებისთვის დამახასიათებელი ტიპური ქსელური ტოპოლოგია

დაყოვნებები შეიძლება გამოიწვიოს სწორედ ზემოაღნიშნულმა გამოთვლებმა, ასევე მონაცემთა გადაცემის სხვადასხვა წესების და მეთოდების მართვამ. გასათვალისწინებელია, რომ თვითონ გამანაწილებლის მიერ გამოწვეული დაყოვნება უგულვებელიყოფა. ის უბრალოდ გადასცემს სიგნალებს ქსელში კვანძების გაფართოების მიზნით [18].

Gateway მიეს გამოწვეული დაყოვნებების შესაფასებლად დავუშვათ, რომ ის რეალიზებულია 32 ბიტანი მარტივი RISC კომპიუტერის, 200 მეგაჰერციანი პროცესორის და 50 მეგაჰერციანი მეხსიერების ბაზაზე. ასევე დავუშვათ რომ, დაახლოებით 50000 ბრძანება და 5000 მეხსიერებაზე წვდომის ციკლია საჭირო ერთი TCP/IP დიაგრამის სამართავად. მაშინ, დაყოვნება გამოითვლება ასე:

$$\frac{1}{200\,000\,000} \text{ პროცესორის ციკლი} \times 2 \frac{\text{ციკლი}}{\text{ბრძანება}} \times 50\,000 +$$

$$\frac{1}{50\,000\,000} \text{ მეხსიერების ციკლი} \times 8 \frac{\text{ციკლი}}{\text{წვდომა}} \times 5000 = 1,3 \text{ მილიწამი} .$$

როგორც ვხედავთ დაყოვნება შეადგენს 1,3 მილიწამს, რაც დამოკიდებულია Gateway მოწყობილობის სიმზლავრეზე და შეტყობინების ზომაზე. რეალური კომპიუტერული დაყოვნება შეადგენს 4 მწმ -10მწმ-ს.

მიუხედავად იმისა, რომ Gateway მოწყობილობით გამოწვეული დაყოვნება არ არის დიდი, სისტემაში კიდევ არის დაყოვნების წყარო. აღსანიშნავია, რომ Modbus TCP პროტოკოლი მხარს უჭერს რამოდენიმე წამყვან მოწყობილობას, რაც იმას ნიშნავს, რომ მიმყოლმა მოწყობილობებმა ასევე მხარი უნდა დაუჭირონ რამოდენიმე წამყვანს და ერთზე მეტ მოთხოვნას დროის ერთეულში. ეს არის ფუნდამენტური ცვლილება საბაზისო Modbus ისგან განსხვავებით, სადაც ყველა მოწყობილობა უნდა გაჩუმდეს, ბრძანების გაგზავნის შემდეგ. დამატებითი ბრძანებების გაცემა შესაძლებელია, მას შემდეგ რაც მიმყოლი მოწყობილობა გასცემს პასუხს [9, 19].

როდესაც Gateway მიიღებს ბევრ Modbus Ethernet ბრძანებას Modbus მიმყოლი მოწყობილობებისთვის, მან ეს ბრძანებები უნდა ჩააყენოს რიგში და სათითაოდ გაუგზავნოს Ethernet მიმყოლ მოწყობილობებს. თუ დავუშვებთ, რომ მიმყოლი პასუხობს დაახლოებით 5 მწმ-ში და საშუალოდ 2 ბრძანება იმყოფება რიგში ერთდროულად, დაყოვნება გამოიანგარიშება ასე:

$$(1,3 \text{ მწმ} + 26 \text{ მწმ}) \times 2 + 5 \text{ მწმ} = 59,6 \text{ მწმ};$$

$$59,6 \text{ მწმ} \times 2 \text{ ბრძანება} = 119,2 \text{ მწმ საშუალო დაყოვნება};$$

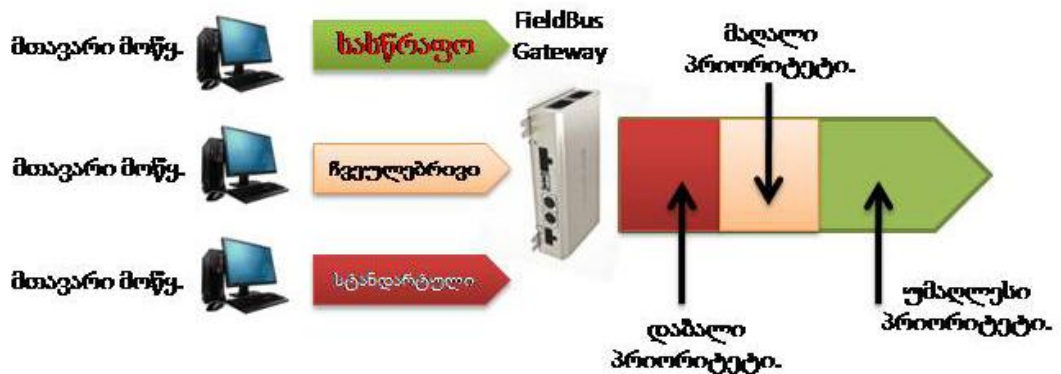
როდესაც გვაქვს დიდი რაოდენობით Modbus წამყვანი მოწყობილობები და ბრძანებები, მაშინ დაყოვნება დრამატულად იზრდება. უფრო, მეტიც დაყოვნებები არაპროგნოზირებადი ხდება ვინაიდან ბრძანებების ნებისმიერი რაოდენობა შეიძლება გაცემულ იქნეს ნებისმიერ დროს.

ჩანს არარეალურია დაყოვნების წყაროს სრული გამორიცხვა, ვინაიდან ის ეუბნება ფუნდამენტურ განსხვავებას პროტოკოლებს შორის. თუმცა Gateway მოწყობილობა ვერ აუვლის გვერდს ბრძანებების რიგში ჩაყენებთ გამოწვეულ დაყოვნებებს, არსებობს კრიტიკული ბრძანებებისთვის დაყოვნებების მართვის მექანიზმები. ადმინისტრატორებს შეუძლიათ განსაძღვრონ, რომელი ბრძანებები საჭიროებენ რეალურ დროში შეპასუხებას, და Gateway შეიძლება დაკონფიგურდეს ისე, რომ ეს ბრძანებები გადაიციონ რიგგარეშედ, ხოლო ყველა სხვა ბრძანება გადაიციმა ჩვეულებრივად, რიგის გათვალისწინებით. ეს უზრუნველყოფს პროტოკოლებს შორის მაღალი დონის შეთავსებადობას, ამავდროულად დაყოვნება მაქსიმალურად მცირდება ყველაზე კრიტიკული ოპერაციებისთვის.

2.1.4 პრიორიტეტის კონტროლის მექანიზმები დაყოვნების შესამცირებლად

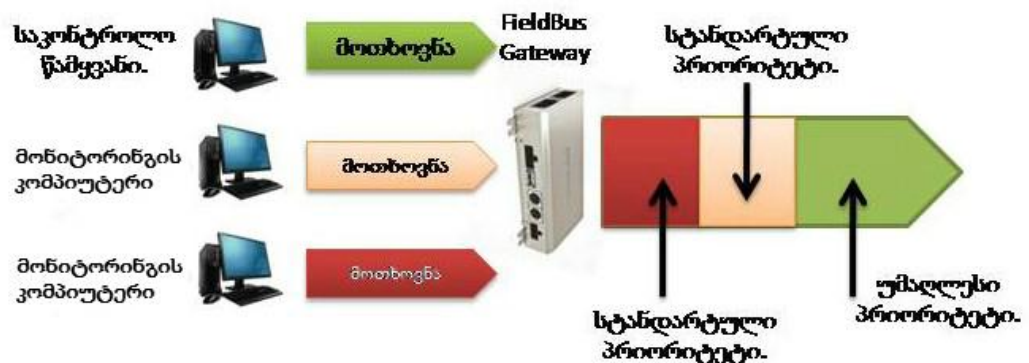
ყველა Modbus სისტემას აქვს საკუთარი მოთხოვნები და კრიტიკული/არაკრიტიკული ბრძანებების იდენტიფიკაციის განსხვავებული მექანიზმები. ტიპიურ შემთხვევაში, მაღალი პრიორიტეტი ენიჭება ისეთ ბრძანებებს, როგორცაა მაგალითად მოწყობილობის გამორთვა. ამ სცენარისთვის, Fieldbus Gateway-ს სჭირდება უნარი, რომ გაფილტროს სპეციფიკური ბრძანებები და შემდეგ გააგზავნოს რიგისგან დამიუკიდებლად. სასურველია, ბრძანებებს მიენიჭოთ პრიორიტეტულობის სხვადასხვა დონეები (ნახ. 25) [20].

მეორე მკაფიო სცენარი Modbus სისტემისათვის არის მონიტორინგის მიზნებისთვის გამოყენებული მოწყობილობების გაერთიანება, ერთად დაჯგუფება. როგორც წესი ასეთი მოწყობილობები არ მოითხოვენ დროის რეალურ რეჟიმში კონტროლს. მაგალითად, ქსელში შეიძლება იყოს ერთადერთი მოწყობილობა, რომელიც აქტიურად აგზავნის ბრძანებებს. დანარჩენი „მონიტორინგის“ კვანძები/კომპიუტერები უბრალოდ



ნახ. 25. წარმადობის ამაღლება ბრძანებებისთვის პრიორიტეტების მინიჭებით

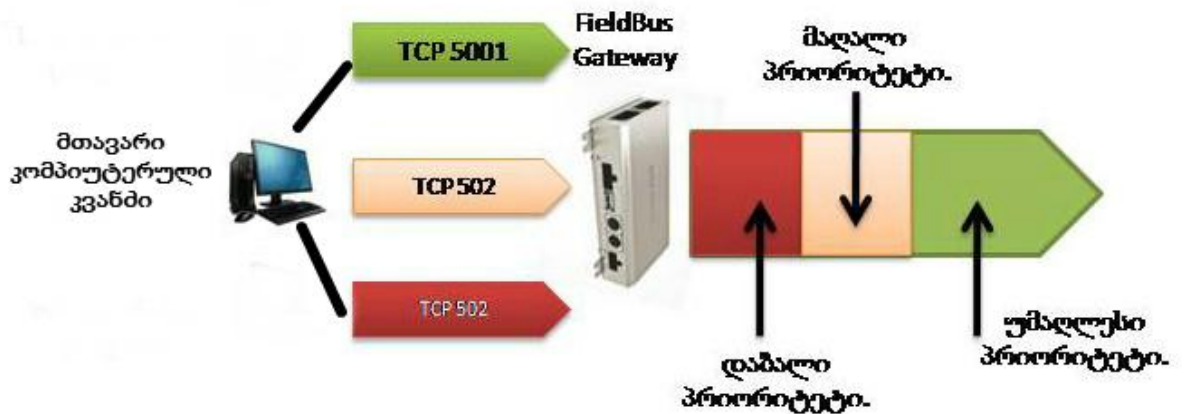
მონიტორინგს უკეთებენ მონაცემებს. წამყვანი მოწყობილობის მწყობრიდან გამოსვლის შემთხვევაში ერთ-ერთი მონიტორინგის კომპიუტერი შეცვლის მას. ამ ტიპის სისტემებისთვის „საკონტროლო“ წამყვანიდან გენერირებულ ყველა ბრძანებას უნდა ჰქონდეს უმაღლესი პრიორიტეტი. Fieldbus Gateway-



ნახ. 26. ბრძანებების ფილტრაცია პრიორიტეტულობის მიხედვით

ს უნდა შეეძლოს ბრძანებების ფილტრაცია კონკრეტული წყაროდან IP მისამართების საფუძველზე და მისი რიგების გარეშე მომსახურება (ნახ. 26) [21].

ზოგიერთ სისტემაში არ არის ადვილი კრიტიკული ბრძანებების კატეგორიზება ტიპის ან წყაროს მიხედვით. თუცა თუ SCADA სისტემა გადასცემს Ethernet ტიპის ბრძანებებს, შესაძლოა SCADA სისტემამ განსაზღვროს კრიტიკული და არაკრიტიკული ბრძანებები. არაკრიტიკული ბრძანებები გადაიცემა სტანდარტული 502 TCP პორტით, ხოლო კრიტიკულები განსხვავებულით. ამ პირობებში Fieldbus Gateway უნდა გაარჩიოს და ცნოს ბრძანებები თუ რომელი პორტიდან მოდიან და შესაბამისად მიიღოს გადაწყვეტილება, მათი რიგში მოთავსების ან რიგგარეშე მომსახურების შესახებ (ნახ. 27) [22].



ნახ. 27. ბრძანებების ფილტრაცია საკომუნიკაციო პორტების მიხედვით

როცა ხდება Modbus და Ethernet ქსელების ინტეგრირება, გარდაუვალია, რომ რაღაც დონის დაყოვნება აუცილებლად იქნება მონაცემთა გადაცემის, Fieldbus Gateway, თუ ბრძანებათა რიგის ორგანიზების მიზეზით. ამის გამო ინტეგრირებულ Modbus სისტემებს არ შეუძლიათ ისეთი შეპასუხებების გარანტირება რაც დროის რეალური რეჟიმის აპლიკაციებისთვის იქნება საკმარისი. თუმცა შესაძლებელია დაყოვნებების მართვა და წინასწარ

განსაზღვრა ისე, რომ რეალური რეჟიმის და დისკრეტული მართვის ამოცანები და მოთხოვნები რეალიზებადი იყოს [23]. ადმინისტრატორებისთვის ძნელი არ უნდა იყოს მართვის სისტემის ისეთი არქიტექტურის განსაზღვრა, რომელიც სასურველ პასუხის გაცემის დროს უზრუნველყოფს, იმ შემთხვევაში თუ ისინი გაცნობიერებულნი იქნებიან თუ როგორ რეგულირდება დაყოვნება და რა ფუნქციებითაა აღჭურვილი Fieldbus Gateway მოწყობილობა.

ზოგიერთი საკომუნიკაციო პროტოკოლი, მაგალითად როგორცაა Ethernet, ითვლება „შეერთებაზე ორიენტირებულად“. ყველა შეერთებას აქვს სამი ფაზა:

1. კლიენტის მიერ მოთხოვნის ინიცირება და სერვერთან კავშირის დამყარება.
2. მონაცემთა გადაცემა კავშირის არხით.
3. ინიციატორის მიერ კავშირის არხის დახურვა.

საკომუნიკაციო პროტოკოლები ასევე ითვალისწინებენ ტაიმაუტის კონტროლს მონაცემთა გადაცემის დროს. ეს იმას ნიშნავს რომ ტაიმერმა უნდა იცოდეს როდის დაიწყოს დროის ათვლა (კლიენტის მიერ მოთხოვნის ინიციალიზებისას) და როდის შეწყვიტოს (კლიენტის მიერ კავშირის დახურვისას). მაგალითად Ethernet/IP პროტოკოლის შემთხვევაში კლიენტი კავშირის დაწყების წინ აგენერირებს დაწყების ბრძანებას და აქვე განსაზღვრავს ტაიმაუტის დროს, რომელიც არეგულირებს მოთხოვნაზე პასუხის გარკვეულ დროში გაცემის იდენტიფიცირებას. პასუხის მიღების შემდეგ კი ასევე უშვებს კავშირის დაცურვის ბრძანებას და ხდება ტაიმერების განულება. მიუხედავად იმისა რომ „შეერთებაზე ორიენტირებული“ პროტოკოლები ხასიათდებიან სირთულით, მათ გააჩნიათ კავშირის რღვევის დეტექტირების და მონაცემთა ხელახალი გადაცემის (წარუმატებლობის / კავშირის დაკარგვის შემთხვევაში) კარგი საშუალებები [24].

აღსანიშნავია, რომ Modbus TCP ფუნქციონირებს შვიდდონიანი OSI მოდელის აპლიკაციის / გამოყენების და ტრანსპორტის დონეზე. სწორედ ტრანსპორტის დონე განსაზღვრავს შეერთებების და მონაცემთა ტრანსპორტირების, მათ შორის ტაიმაუტების სპეციფიკაციებს. ყველა მოთხოვნის ინიციატორი არის წამყვანი (კლიენტი) მოწყობილობა და ისინი მიმწილებთან ურთიერთქმედებენ მხოლოდ მოთხოვნების გაგზავნის საფუძველზე. მიმყოლები (სერვერი) პასიური მოწყობილობებია და ისინი პასუხობენ მხოლოდ წამყვანების მოთხოვნებს. ყოველი მოთხოვნა უნდა დასრულდეს მიმყოლის მიერ პასუხის გაცემით, გარდა ფართოსამაუწყებლო შეტყობინებებისა. ამ შემთხვევაში შეტყობინება ეგზავნება ყველა მიმყოლს, მაგრამ ისინი არ სცემენ ამ მოთხოვნას პასუხს. შესაძლებელია ვარიანტი, როცა მიმყოლი მოწყობილობა იღებს მოთხოვნას სერვერისგან, მაგრამ არ გააჩნია ამ ტიპის მოთხოვნის მხარდაჭერა. ამ დროს ფიქსირდება ან შეცდომა, ან მიმყოლი ატყობინებს წამყვანს განსაკუთრებული სიტუაციის შესახებ. ორიგინალური (საწყისი) Modbus არ იყო ერთდროულად რამოდენიმე შეტყობინებების და პასუხების მიღება/გაცემაზე, ამიტომ ის მხარს უჭერს მხოლოდ ერთ მოთხოვნას და ერთ პასუხს დროის ერთეულში. როცა წამყვანი უგზავნის მოთხოვნას მიმყოლს, ამ დროს ქსელში არანაირ სხვა აქტივობას არ უნდა ჰქონდეს ადგილი, მანამ სანამ მიმყოლის მხრიდან წამყვანს არ დაუბრუნდება მოთხოვნაზე პასუხი. Modbus პროტოკოლში წინასწარ განსაზღვრულია ტაიმაუტი, რომლის განმავლობაში წამყვანი მოწყობილობა ელოდება პასუხს, და მისი გასვლის შემდეგ თვლის რომ ან მოწყობილობას აქვს პრობლემა ან საკომუნიკაციო ქსელს და აუქმებს მოთხოვნას [22, 23].

ტაიმაუტის მნიშვნელობის განსაზღვრას Modbus ანდობს უშუალოდ აპარატურის მწარმოებლებს. ოპტიმალური მნიშვნელობის არჩევას დიდი მნიშვნელობა აქვს სისტემის სწრაფქმედების და ეფექტურობის კუთხით. თუ ტაიმაუტის მნიშვნელობა იქნება მცირე, მაშინ წამყვანი მოწყობილობა არ დაელოდება მიმყოლს და გააუქმებს მოთხოვნას მაშინაც კი თუ მიმყოლს

ექნება პასუხი. ეს კი გამოიწვევს იმას, რომ მიმყოლი დააგენერირებს და გააგზავნის პასუხს, მაშინ როცა წამყვან მოწყობილობას უკვე სხვა მოთხოვნა ექნება ინიცირებული. ეს ცხადია სისტემის წარმადობას აზარალებს.

მოთხოვნაზე პასუხის დასამუშავებლად და მის გასაცემად მიმყოლი მოწყობილობებს სხვადასხვა დრო სჭირდებათ. ეს დამოკიდებულია მოწყობილობის დაპროექტების სტრუქტურაზე. მაგალითად პასუხი შეიძლება უცებ იქნას გაცემული, თუ წამყვანი მოთხოვნის მხოლოდ სენსორის გარკვეული მნიშვნელობის გადაცემას, მაგრამ პასუხის დამუშავებას სჭირდება დიდი დრო, თუ მოთხოვნა საჭიროებს მონაცემებზე დამატებით მანიპულაციებს. გამომდინარე აქედან, წამყვანი მოწყობილობების მწარმოებლები ტაიმაუტის მნიშვნელობის განსაზღვრისას ითვალისწინებენ მიმყოლი მოწყობილობებისთვის საჭირო შეპასუხების საშუალო დროს. ვინაიდან მხოლოდ ერთ მიმდევრობით არხზე შესაძლებელია 31 მიმყოლის შეერთება, ეს ნიშნავს, რომ კორექტული ტაიმაუტის განსაზღვრა მოთხოვნის არცთუ მარტის ლაბორატორიულ გამოთვლებს. სიტუაცია რთულდება, როდესაც საქმე გვაქვს სპეციფიკურ მოწყობილობებთან, რომელთაც ამზადებენ დახურული სისტემებისთვის ან როცა ცალკეული მოწყობილობების ქარხნული მონაცემების მოპოვება ძნელია არასწორი დოკუმენტაციის სისტემის გამო.

პრობლემისადმი ალტერნატიული მიდგომა მდგომარეობს Modbus gateway -ებში. ეს მოწყობილობები როგორც წესი, Modbus TCP ქსელებს აკავშირებენ Modbus/RTU/ASCII სისტემებთან. ეს საშუალებას აძლევს TCP წამყვან მოწყობილობებს მოთხოვნები გაუგზავნონ RTU/ASCII მიმყოლებს. ნაცვლად იმისა, სისტემის მწარმოებლებმა ან სხვა პირებმა განსაზღვრონ ტაიმაუტის დროის ოპტიმალური მნიშვნელობა, ეს მოწყობილობა თავად განსაზღვრავს მას, წამყვანი მოწყობილობების მიერ პასუხის გასაცემად საჭირო საშუალო დროისდა მიხედვით, რადგან ის უშუალოდ ხედავს თუ ვის რამდენი დრო სჭირდება და საჭიროების შემთხვევაში დინამიურად ანახლებს ამ მნიშვნელობას. მიუხედავად იმისა რომ ამ მეთოდს აქვს

დადებითი მხარეები, აქვს ასევე ნაკლიც, რაც მდგომარეობს იმაში, რომ ვინაიდან ტაიმაუტის ოპტიმალური მნიშვნელობის გამოთვლა ხდება მიმყოლი მოწყობილობების მიერ მიღებული და პასუხგაცემული მოთხოვნების საფუძველზე, ის მიყოლი მოწყობილობები, რომლებსაც ჯერ არ მიუღიათ მოთხოვნა წამყვანისგან არ მონაწილეობენ ტაიმაუტის ოპტიმალური მნიშვნელობის გამოთვლაში. ასევე, ერთიდაიმავე მიმყოლი მოწყობილობის შემთხვევაშიც კი პასუხის გაცემის დრო შეიძლება დრამატულად იცვლებოდეს მოთხოვნის ბუნებიდან გამომდინარე. ასევე Modbus gateway-ს ყოველი ხელახალი ჩატვირთვისას მისი ბაზა გასუფთავებულია და კვლავ საჭიროებს მის ხელახლა ფორმირებას, რაც მოუხერხებელია [23, 24, 25].

თანამედროვე Modbus gateway-ები დაპროგრამებულია სრულყოფილი და თვისებრივად ახალი ალგორითმით, რაც გულისხმობს სისტემის ინსტალაციისას ერთჯერადად ყველა მიმყოლი მოწყობილობისთვის შეტყობინების გაგზავნას და მიღებული პასუხის საფუძველზე ფორმულით ტაიმაუტის დროის ოპტიმალური მნიშვნელობის განსაზღვრას. ეს მეთოდი ადმინისტრატორის მხრიდან ერთ ლილაკზე დაჭერას მხოლოდ და გამოთვლის შედეგები ნარჩუნდება სისტემის გადატვირთვის შემთხვევაშიც კი. კორექტივები საჭიროა ქსელში ახალი მოდულების დამატების შემთხვევაში მხოლოდ.

2.1.5 SCADA სისტემის წარმადობის ამაღლება ელექტროქსელის პარამეტრების გამზომი მულტიფუნქციური ხელსაწყოს მაგალითზე

მოცემულ ქვეთავში განხილულია ელექტროქსელის მონიტორინგის და მართვის SCADA სისტემაში გამოყენებული პოპულარული მულტიფუნქციური გამზომი ხელსაწყოს Modbus საკომუნიკაციო პროტოკოლთან მუშაობის საკითხები [26]. დამუშავებულია ხელსაწყოს წარმადობის (მწარმოებლობის) ამაღლების ალგორითმი, რაც თავის

SCADA სისტემის წარმადობის ამაღლების წინაპირობაა. გამოკვლევის ობიექტის სახით აღებულია ელექტროქსელის პარამეტრების ანალიზის მულტიფუნქციური ხელსაწყო N14 (მწარმოებელი *LUMEL S.A.* [27]). იულიხის კრისტალური სპექტრომეტრის მართვისა და მონიტორინგის SCADA სისტემის წარმადობის ამაღლების მეთოდი დამუშავდა მოცემული მულტიფუნქციური ხელსაწყოს მაგალითზე.

როგორც უკვე არვნიშნეთ, თანამედროვე SCADA სისტემებში აქტუალურია წარმადობის ამაღლების პრობლემატიკა. განსაკუთრებით ეს ეხება ტექნოლოგიური პროცესების მონიტორინგისა და მართვის სისტემებს, რომლებშიც დიდი მნიშვნელობა ენიჭება სწრაფქმედებას. საწარმოო ტექნოლოგიური პროცესების სრულმა ავტომატიზაციამ ერთის მხრივ აამაღლა მათი ხარისხი და საიმედოობა, მაგრამ მეორეს მხრივ, თანამედროვე ინტელექტუალური მოწყობილობების შესაძლებლობების არასათანადოდ, არასრულყოფილად გამოყენებამ წინა პლანზე წამოწია სწრაფქმედების ამაღლების აუცილებლობა [26]. საწარმოო თუ ნებისმიერ სფეროში მიმდინარე პროცესების მართვის ტექნოლოგიური გადაწყვეტის დონე (ალგორითმიზაცია, გამოყენებული საკომუნიკაციო პროტოკოლები, პრაქტიკული რეალიზაცია) მკვეთრად ჩამორჩება მართვისა და მონიტორინგის პროცესში მონაწილე მოწყობილობების შესაძლებლობებს და განვითარების ხარისხს, რაც მათი შესაძლებლობების არაოპტიმალურ გამოყენებას იწვევს და საბოლოო ჯამში აისახება ტექნოლოგიური პროცესის წარმადობაზე.

მოცემული სადოქტორო ნაშრომის ფარგლებში ჩატარდა ელექტროქსელის პარამეტრების ანალიზის მულტიფუნქციური ხელსაწყო N14-ის Modbus საკომუნიკაციო პროტოკოლთან მუშაობის კვლევა. ხელსაწყო N14 წარმოადგენს პროგრამირებად ციფრულ მულტიფუნქციურ მოწყობილობას, რომელიც განკუთვნილია სამფაზა, სამ ან ოთხგამტარიანი ელექტროქსელის პარამეტრების (დენისა და ძაბვის საშუალოკვადრატული მნიშვნელობები, აქტიური, რეაქტიული და სრული სიმძლავრე და ენერგია,

სიმძლავრის კოეფიციენტი, სიხშირე და სხვა) ერთდროული გაზომვის, ასახვისა და ციფრული მნიშვნელობების გადაცემისათვის [26]. ელექტროქსელის გაზომილი პარამეტრების რიცხვითი მნიშვნელობების ფიქსაცია ხორციელდება ჩაშენებულ 16– და 32–თანრიგა რეგისტრებში. თითოეული პარამეტრის მნიშვნელობა SCADA სისტემაში მთავარ მოწყობილობას (MTU) გადაეცემა RS-485 ინტერფეისის და Modbus პროტოკოლის საშუალებით [9]. მოწყობილობის მიერ მოთხოვნაზე პასუხის გაცემის მაქსიმალური დრო შეადგენს 1000 მილიწამს. სამუშაო რეჟიმად შერჩეულია: Modbus RTU, მონაცემთა გადაცემის სიჩქარეები: 4.8, 9.6, 19.2, 38.4 კბიტი/წმ.

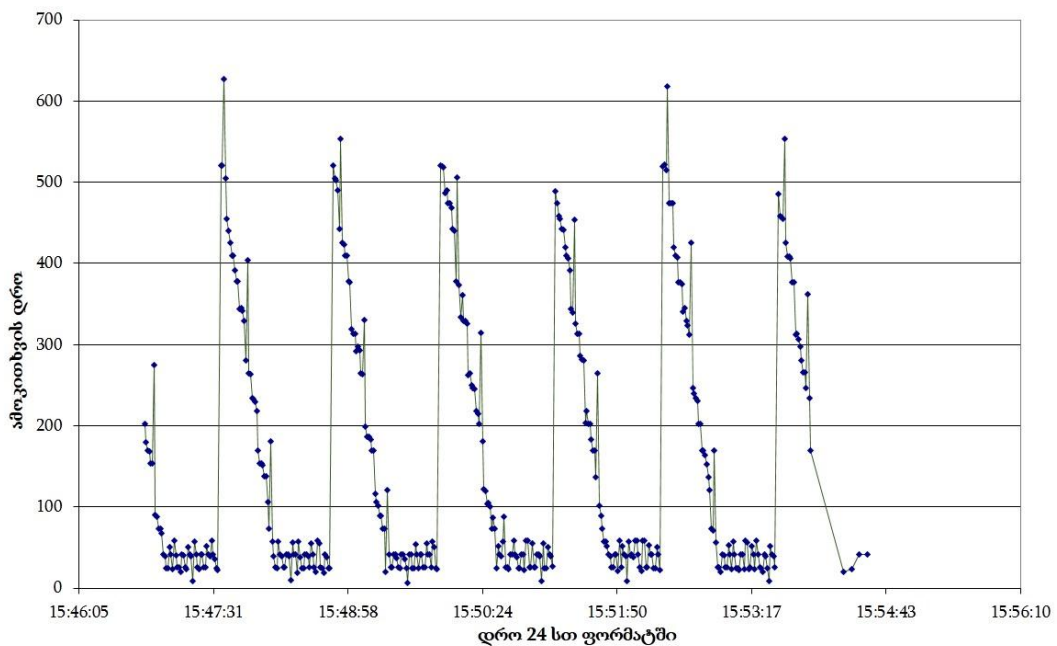
ექსპერიმენტის ფარგლებში N14 მოწყობილობის რეგისტრებიდან დროის გარკვეული ინტერვალით Modbus RTU პროტოკოლით და კერძოდ 03 ბრძანებით ხორციელდებოდა მონაცემთა ამოკითხვა და ამოკითხვისათვის საჭირო დროის შეფასება.

როგორც ცნობილია Modbus პროტოკოლით შეტყობინებათა მიმოცვლა მიმდინარეობს საკომუნიკაციო ციკლების სახით. ეს არის მოსამზადებელი სამუშაოების/ოპერაციების ერთობლიობა, რომელიც საჭიროა შეტყობინების გასაგზავნად/ მისაღებად. არსებობს ციკლის ორი სახე, მთავარი (Master) და მიმყოლი/დამოკიდებული (Slave) მოწყობილობის ციკლი. მოწყობილობები მოთხოვნებს/შეტყობინებებს იღებენ ციკლის დასაწყისში და აგზავნიან ციკლის ბოლოს.

Modbus პროტოკოლის მკვლევარების ვარაუდით Master და Slave ციკლები ფიქსირებული ხანგრძლივობისაა, მიუხედავად იმისა, თუ Modbus–ის რა ბრძანება სრულდება. ჩატარებული კვლევა პასუხს სცემს კითხვაზე: Modbus–ის სხვადასხვა ბრძანებების დროს შესაძლებელია თუ არა ციკლების დროის შემცირება?

ჩატარებულ ექსპერიმენტში კომპიუტერი ასრულებს მთავარი მოწყობილობის როლს, ხოლო მულტიფუნქციური გამზომი ხელსაწყო N14

- მიმყოლი ანუ დაქვემდებარებული მოწყობილობის როლს. მათ შორის კავშირი ხორციელდება RS-485 ინტერფეისის ბაზაზე, რომელიც შესაბამისი გარდამქმნელით უკავშირდება პერსონალური კომპიუტერის USB პორტს. ნახ. 28-ზე ნაჩვენებია მოწყობილობა N14-ის ერთი თექვსმეტბიტიანი მთელი ტიპის (სიხშირე) მნიშვნელობების შემცველი რეგისტრიდან მონაცემთა ამოკითხვისთვის საჭირო დროების განაწილება. რეგისტრზე მიკითხება ხორციელდება 1 წმ-იანი ინტერვალით.



ნახ. 28. N14 მოწყობილობის ერთიდაიგივე რეგისტრიდან მონაცემთა ამოსაკითხად საჭირო დროების განაწილება (მწმ)

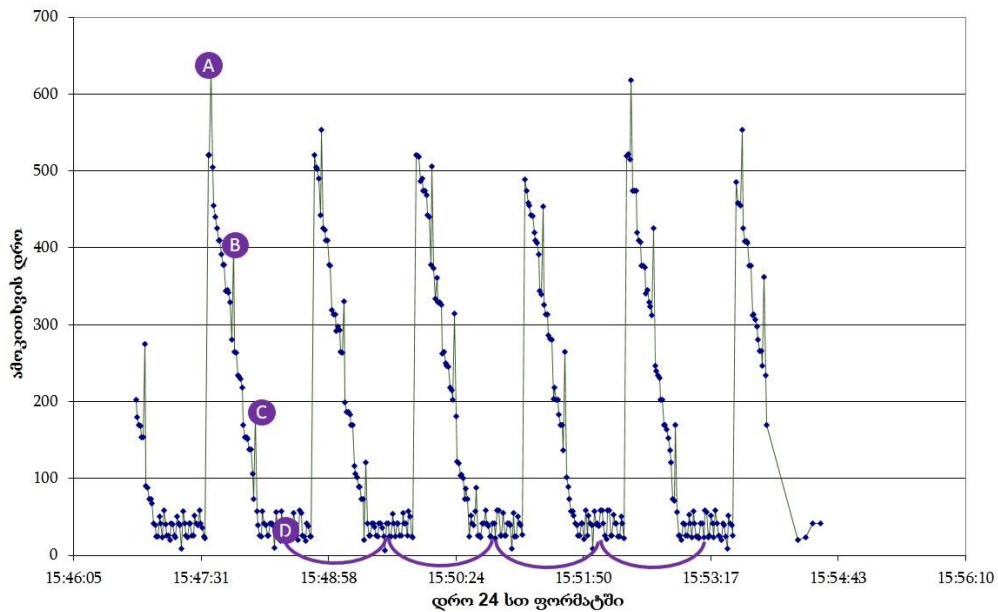
რეგისტრზე მიკითხვების ერთწამიანი ინტერვალი არის ოპტიმალური, რადგან საპასპორტო ინსტრუქციების მიხედვით N14 მოწყობილობის მიერ პასუხის მოსამზადებლად და გასაცემად საჭირო დროის მაქსიმალური მნიშვნელობაა 1000 მწმ ანუ 1 წმ. ამასთან, აუცილებელია მოწყობილობამ მოასწროს ყველა მიმართვაზე რეაგირება. როგორც ნახ. 28-დან ჩანს, მოწყობილობის რეაქციის (პასუხის გაცემის) დროის მაქსიმალური მნიშვნელობა აღწევს დაახლოებით 630 მწმ-ს, ხოლო მინიმალური მნიშვნელობები მერყეობენ 20-65 მწმ დიაპაზონში. მოცემული სურათიდან

ჩანს, რომ მოწყობილობის რეგისტრიდან მონაცემის ამოკითხვა გრძელდება 10 წთ-ის განმავლობაში, 1 წმ-იანი ინტერვალით. შედარებისთვის ექსპერიმენტი ასევე ჩატარდა მოწყობილობის ერთდროულად რამოდენიმე რეგისტრის ამოკითხვის პირობებშიც, ასევე Modbus RTU რიჟიმის სხვადასხვა სიჩქარეებისთვის (9600 და 19200 ბიტი/წმ). სურათი დაახლოებით იგივეა - მნიშვნელოვან გადახრებს ადგილი არა აქვს.

ყოველი წერტილი ნახ. 28-ზე მოცემულ გრაფიკზე შეესაბამება მიმყოლი მოწყობილობიდან პასუხის მიღების დროს დამატებული პასუხის ციკლი. უშუალოდ პასუხის ციკლი გულისხმობს მიმყოლი მოწყობილობის მიერ მოთხოვნის მიღებას და მის დამუშავებას, ფუნქციის კოდით მოთხოვნილი ოპერაციის შესრულებას. როგორც ჩატარებული ექსპერიმენტებიდან ჩანს, რომ მიმყოლი მოწყობილობის ციკლები თანაბარი ხანგრძლივობების არაა. ამოკითხვის დროის პიკურ მნიშვნელობებს შორის არსებობს ფიქსირებული 90 წმ-იანი დროთი ინტერვალი, რომელიც სიმეტრიულად ნაწილდება. მიმართვის დასაწყისში შეინიშნება მოწყობილობის რეგისტრიდან მონაცემის ამოკითხვისთვის საჭირო დროის მკვეთრი მატება (630 მწმ), ხოლო შემდეგი 45 წმ-ის განმავლობაში - სტაბილური კლება, მომდევნო 45 წმ-ის ფარგლებში - სტაბილურად დაბალი მნიშვნელობები (20-65 მწმ-ის საზღვრებში). შემდეგ პროცესი მეორდება ციკლურად.

წარმადობის ამაღლების ალგორითმი. ექსპერიმენტებმა აჩვენა, რომ პარამეტრების გაზომვის პროცესის დაწყებისას, შეიძლება მოვხვდეთ როგორც დაბალი მნიშვნელობების დიაპაზონში ასევე პიკურ მნიშვნელობაზე ან სტაბილურად კლებად ფაზაში. პირველ შემთხვევაში უკვე „დაჭერილია“ მოწყობილობის რეგისტრიდან მონაცემთა ამოკითხვისთვის საჭირო დროის დაბალი მნიშვნელობა. თუ ამ მომენტიდან გაზომვის პროცესი გაგრძელდება 100 წმ-იანი დროითი ინტერვალით, ყოველი შემდეგი გაზომვისას მიღწეული იქნება მოწყობილობის მიერ პასუხის გაცემის მცირე დრო. პირველისგან

განსხვავებულ შემთხვევებში კი უნდა შემუშავდეს მოწყობილობაზე მიმართვის და მონაცემთა ამოკითხვის ცალკე ალგორითმები.

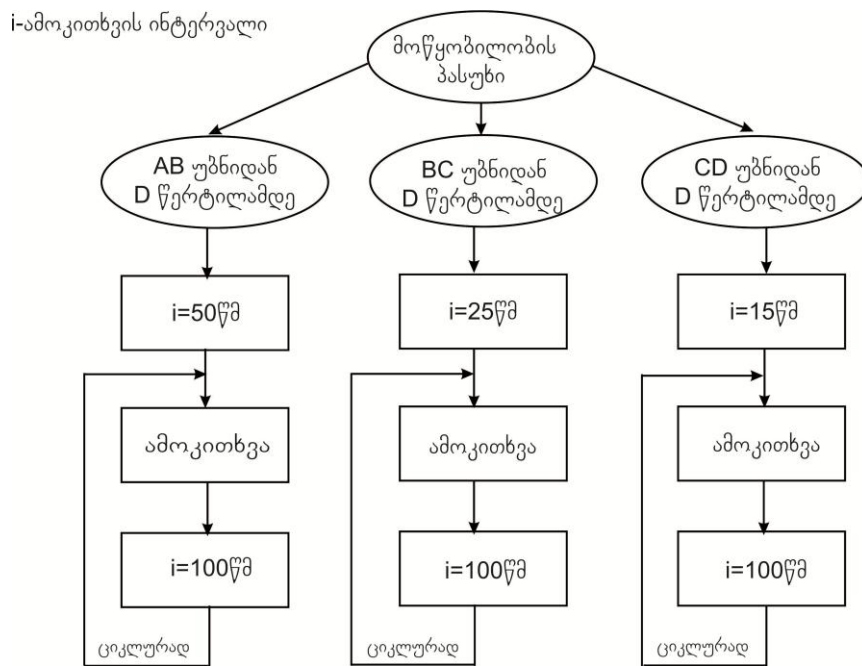


ნახ. 29. N14 მოწყობილობის ერთიდაიგივე რეგისტრიდან მონაცემთა ამოსაკითხად საჭირო დროების განაწილება (მწმ)

თვალსაჩინოებისთვის ნახ.28-ზე ნაჩვენები ამოკითხვის დროის გრაფიკის კლებადი ფაზა დაიყო A (630 მწმ), B (400 მწმ), C (180 მწმ), D (50 მწმ) წერტილებად, ანუ 3 უბნად (AB, BC, CD). ექსპერიმენტის მიზანია ამ წერტილებიდან დაბალი (<100 მწმ) დონის წერტილებამდე (D ტიპის) გასვლა, რომლებიც შეესამამებთან მოწყობილობიდან მონაცემთა ამოკითხვის მცირე დროებს (ნახ. 29). ჩატარებული ექსპერიმენტის პროგრამული უზრუნველყოფით დადგენილ იქნა, რომ A-B უბნიდან D-ტიპის წერტილებამდე დაახლოებით 50 წმ-ია, B-C უბნიდან - 25 წმ, ხოლო C-D უბნიდან - 15 წმ. მოწყობილობიდან მონაცემთა ამოკითხვის დროის (მოწყობილობიდან პასუხის მიღების) დაბალი მნიშვნელობების მიღწევის შემდეგ საჭიროა მოწყობილობაზე ყოველი შემდეგი მიმართვა მონაცემთა ამოკითხვის მიზნით განხორციელდეს 100 წმ-იანი შუალედებით რაც უზრუნველყოფს ამოკითხვის დროის დაბალი მნიშვნელობების

შენარჩუნებას ყოველი მიმართვისას. ეს იმას ნიშნავს, რომ N14 მოწყობილობიდან მონაცემთა მიღება შესაძლებელი გახდება მინიმალურ დროში, რაც თავის მხრივ გაზრდის სისტემის მწარმოებლურობას/სწრაფქმედებას.

ქვემოთ მოცემულ ნაზაზზე წარმოდგენილია პერსონალური კომპიუტერიდან N14 მოწყობილობაზე მიმართვის ორგანიზების ალგორითმი და მისი რეალიზაცია ბლოკ-სქემის სახით (ნახ. 30). ეს ალგორითმი პრაქტიკულად რეალიზებულია სპექტრომეტრის მართვისა და მონიტორინგის პროგრამულ უზრუნველყოფაში და დადასტურებულია მისი მუშაობის ეფექტურობა.



ნახ. 30. N14 მოწყობილობიდან მონაცემთა ამოკითხვის ალგორითმის ბლოკსქემა

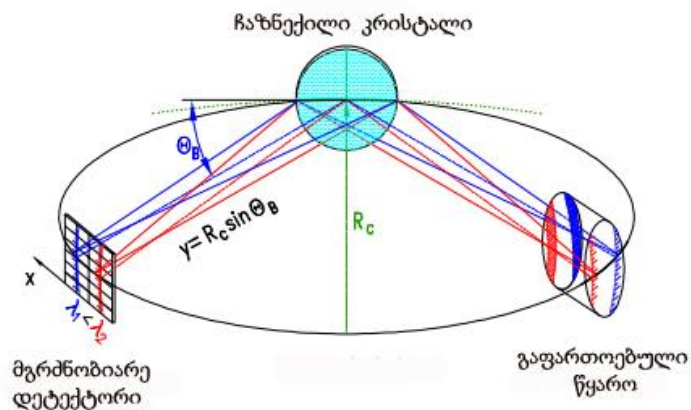
თანამედროვე ტექნოლოგიების განვითარების ტემპები ცხადყოფს, რომ Modbus საკომუნიკაციო პროტოკოლი აუცილებლად საჭიროებს მწარმოებლურობის/ სწრაფქმედების ამაღლებას, რადგან იგი მკვეთრად ჩამორჩება თანამედროვე ტექნოლოგიური პროცესების დისპეტჩერული

მართვისა და მონიტორინგის SCADA სისტემებში გამოყენებული ინტელექტუალური მოწყობილობების განვითარების დონეს, რაც მათი შესაძლებლობების არაოპტიმალურ გამოყენებას და შესაბამისად სისტემის დაბალ წარმადობას განაპირობებს.

ჩატარებული კვლევის მაგალითზე ცხადად ჩანს, რომ მართვისა და მონიტორინგის სისტემაში პროგრამულ - აპარატურული კონფიგურაციების ცვლილებით და შესაბამისი ალგორითმის შემუშავებით შესაძლებელია სისტემის საერთო წარმადობის ამაღლება, თუმცა მეტი ეფექტისთვის აუცილებელია საკომუნიკაციო პროტოკოლების შინაარსობრივი მოდერნიზება და თანამედროვე მოთხოვნების შესაბამისი სწორი პრაქტიკული რეალიზაცია.

2.1.6 იულიხის კრისტალური სპექტრომეტრი და მისი კომპონენტები

რენტგენის სხივების დეტექტირების ეფექტურობის გასაზრდელად გამოიყენება ფოკუსური სპექტრომეტრები ცილინდრული ან როგორც იულიხის კვლევით-ცენტრში ჩატარებულ ექსპერიმენტის შემთხვევაში სფერულად ჩაზნექილი კრისტალით. ამ დროს როგორც წესი, იყენებენ ამრეკლ სპექტრომეტრებს ე.წ. იოჰანის გეომეტრიიდან [28].



ნახ. 31. კრისტალური სპექტრომეტრის სქემატური ნახაზი იოჰანის მოწყობაში

იოჰანის მოწყობაში როგორც წესი რენტგენის სხივების გაფართოებული წყარო, ჩაზნექილი კრისტალი და პოზიციურად მგრძნობიარე დეტექტორი განლაგებულნი არიან ე.წ. როლანდის წრეზე (ნახ. 31). ეს არის წრე, რომლის რადიუსი R ორჯერ ნაკლებია კრისტალის ჩაზნექის რადიუსზე R_C . რენტგენის სხივების ნაკადის პოზიციური მდგომარეობა, რომლებიც კრისტალს ეცემიან ცენტრალურ ნაწილში განისაზღვრება ფორმულით

$$Y=R_C \cdot \sin \theta_B$$

ეს მოწყობა გაფართოებულ წყაროსა და დეტექტორთან ერთად საშუალებას იძლევა ერთდროულად გაიზომოს სასრული ენერგიების ინტერვალი. მცირე ტალღის სიგრძეები (მაღალი ენერგიები) შეესაბამებიან მცირე კრისტალიდან არეკვლის მცირე კუთხეებს (ე.წ. ბრეგის კუთხე [28, 29]). სხვადასხვა ტალღის სიგრძის მქონე რენტგენის სხივები გაფართოებული წყაროს სხვადასხვა უბნებიდან ეცემიან კრისტალს და ფოკუსირდებიან პოზიციურად მგრძნობიარე დეტექტორის მეზობელ უბნებში. ამგვარად, დეტექტორის სიბრტყეზე გაზომილი პოზიციური სპექტრი შეიცავს ინფორმაციას დიფრაქციაგანცდილი რენტგენის სხივების ენერგიებში სხვაობის შესახებ. ეს დამოკიდებულება შეიძლება გამოვსახოთ ლოკალური დისპერსიის საშუალებით ,

$$\frac{dE}{dx} = \frac{E}{R_C \cdot \sin \theta_B \cdot \tan \theta_B}$$

სადაც x წარმოადგენს ლოკალური დისპერსიის მიმართულებას.

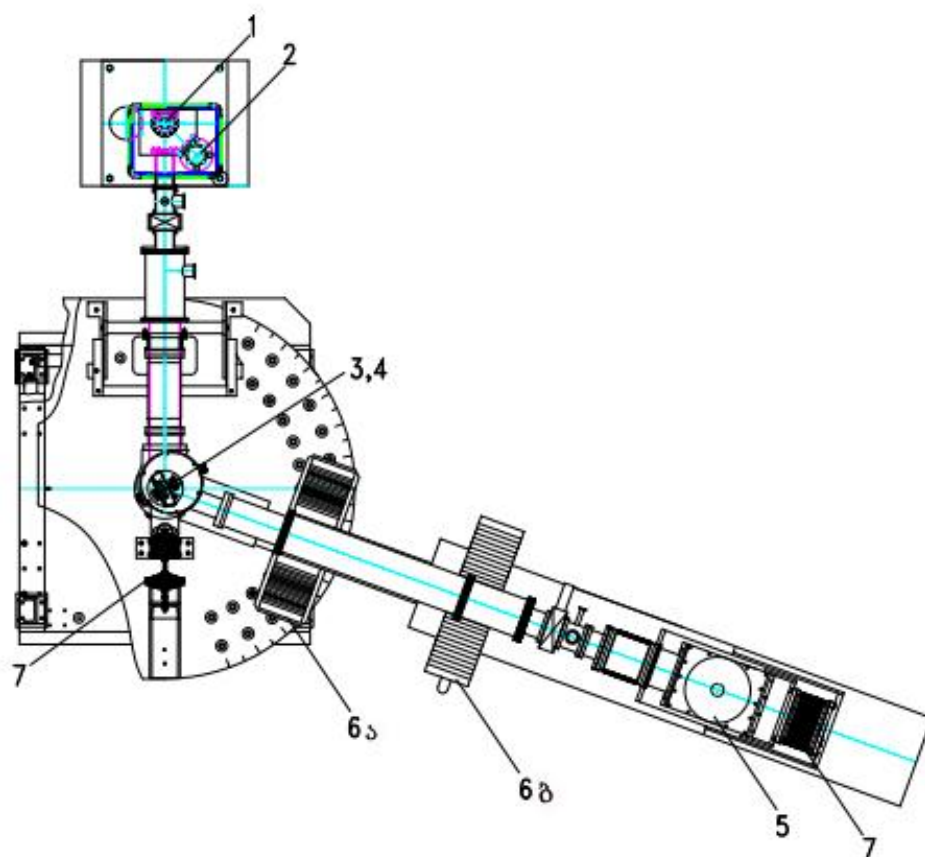
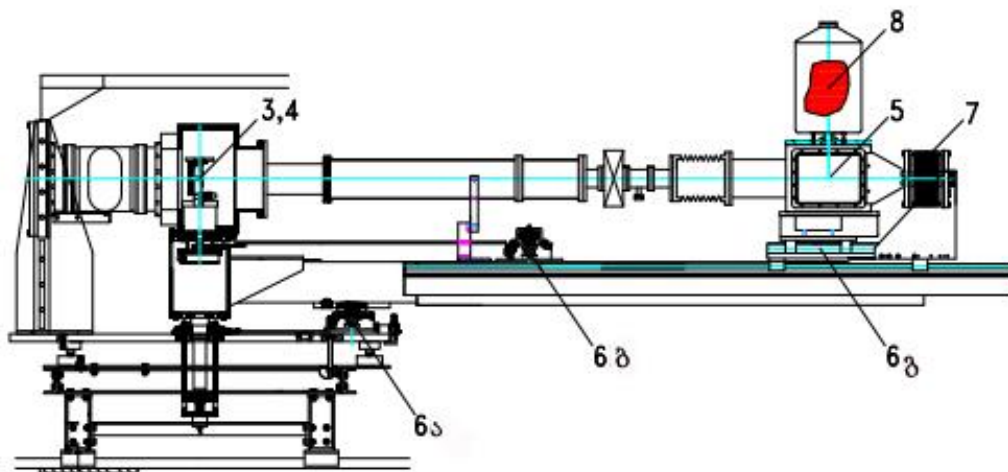
როლანდის მოწყობაში რენტგენის სხივების გაფართოებული წყარო ისეა განლაგებული, რომ მისი არაერთგვაროვნული ბუნება მაქსიმალურად შემცირებულია. შედეგად, რენტგენის სხივები არა მხოლოდ ვიწრო

უბნიდან, როგორც ეს ბრტყელი კრისტალების შემთხვევაში, არამედ წყაროს მთელი გაფართოებული უბნიდან აკმაყოფილებენ ბრეგის კანონს, რომელიც უნდა შესრულდეს იმისათვის რომ, კრისტალიდან არეკვლილი რენტგენის სხივების დეტექტირება მოხდეს [30].

მოკლედ განვიხილოთ ქ. იულიხის სამეცნიერო ცენტრში არსებული სპექტრომეტრის აგებულება. ნახ. 32-ზე წარმოდგენილია ამ სპექტრომეტრის მოწყობილობის სქემა. ეს სპექტრომეტრი მუშაობს ნახ. 31-ზე ნაჩვენები პრინციპით. რენტგენის მილაკიდან გენერირებული რენტგენის სხივები განიცდიან დიფრაქციას ბრეგის კრისტალზე დაცემისას და არეკვლის შემდეგ ფიქსირდებიან ორგანზომილებიანი პოზიციურად მგრძნობიარე სიბრტყის მქონე დეტექტორზე [31].

დეტექტორი შექმნილია რენტგენის სხივებისადმი მგრძნობიარე 2 ცალი ხელსაწყო მუხტური კავშირით (ხმკ), ინგლ. Charged Couple Device (CCD) [31] ტიპის ნახევარგამტარული მოწყობილობის ბაზაზე. ისინი განლაგებულია სპექტრომეტრის ცენტრალურ ნაწილში. სპექტრომეტრის დეტალები ერთმანეთთან დაკავშირებულია ვაკუუმური მილებით, რომლებიც საშუალებას იძლევიან თავიდან იქნას აცილებული მცირე ენერჯის მქონე რენტგენის სხივების შთანთქმა. დეტექტორის ვაკუუმურ კამერაში (კრიოსტატში) შემზრანული და ტურბომოლეკულური ტუმბოების საშუალებით იქმნება დაახლოებით $2 \cdot 10^{-7}$ მზარის ტოლი გაიშვიათება.

ნახ. 33-ზე ნაჩვენებია ბრეგის სპექტრომეტრის კვარცის კრისტალი, რომელიც დამზადებულია გერმანული კომპანია “CARL ZEISS”-ის მიერ. მისი სისქე შეადგენს 200 მკმ-ს ხოლო დიამეტრი ტოლია 100 მმ. კრისტალი დამაგრებულია 30 მმ სისქის და 120 მმ დიამეტრის სფერულად გლუვ მინის ლინზაზე. კრისტალის ჩაზნევის რადიუსი შეადგენს 2982 მმ-ს [31]. კრისტალი, მინის ლინზასთან ერთად დამაგრებულია სპეციალურ სადგარზე, რომელიც უზრუნველყოფს ზუსტ ვერტიკალურ პოზიციონირებას.



ნახ. 32. იულიხის კრისტალური სპექტრომეტრის გვერდხედი და ზედახედი

1: ფლუორესცენციური წყარო; 2: რენტგენის სხივების მილაკი; 3,4: ბრეგის კრისტალი და მისი სადგარი; 5: დეტექტორის კრიოსტატი; 6: გადასაადგილებელი საშუალებები ა) დეტექტორული მკლავის, ბ) კრისტალის და გ) დეტექტორის კრიოსტატისთვის; 7) კრიოსტატის სამაგრი; 8) LN_2 ჭურჭელი;



ნახ. 34. იულიხის კრისტალური სპექტრომეტრის კვარცული კრისტალი



ნახ. 33. იულიხის კრისტალური სპექტრომეტრის კრისტალი მეტალის ლიობით

კრისტალის მობრუნება სხვადასხვა კუთხით მიიღწევა მუდმივი დენის ძრავით, რომელიც საჭირო სიზუსტით გადახრის კრისტალს ჰორიზონტალური ღერძის მიმართ (ნახ. 34). მარცხენა ქვედა კუთხეში ჩანს მიკროძრავი პოტენციომეტრით, რომლის დანიშნულებაა კრისტალის დახრა სასურველი კუთხით. ნახაზზე კარგად ჩანს 60 მმ სიგანის მეტალის ღიობი, რომელიც მოთავსებულია კრისტალის წინ და გამოიყენება რენტგენის სხივების დეფოკუსირებით გამოწვეული ცდომილების შესამცირებლად.

2.1.7 CCD ტიპის დეტექტორების დახასიათება

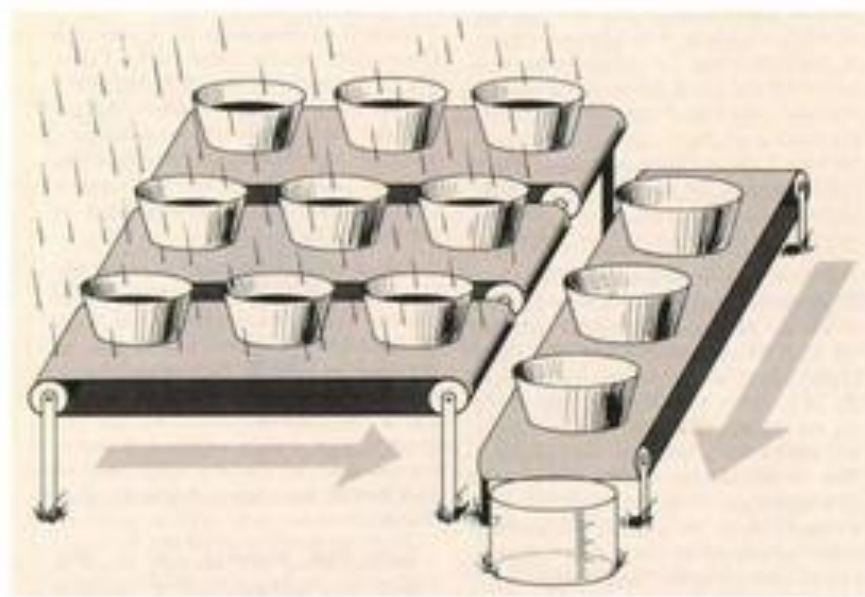
ხელსაწყო მუხტური კავშირით (ხმკ/CCD) არის მოწყობილობა, რომელიც გამოიყენება ელექტრული მუხტის გადასატანად მოწყობილობის შიდა უბნებიდან ისეთ არეში, სადაც შესაძლებელია მასზე მანიპულირება, მაგალითად, გაძლიერება და ციფრულ ფორმაში გარდაქმნა [31, 32]. ეს მიიღწევა დაგროვილი მუხტების გადაადგილებით მოწყობილობის შიდა განსაზღვრული უბნებიდან გამომავალ ელექტროდზე. ხმკ წარმოადგენს ნახევარგამტარულ დეტექტორს, რომელიც უზრუნველყოფს ორგანოზომილებიან პოზიციურ გარჩევადობას მისი ზედაპირის სტრუქტურის ბაზაზე. ლოკალურად, მაგალითად ფოტო ელექტრონის მეშვეობით შექმნილი მუხტი, შეინახება ადგილზე ელექტრული პოტენციალის გავლენით, რაც საშუალებას იძლევა მოხდეს შესაბამისი კოორდინატების განსაზღვრა.

პრაქტიკულად ხმკ წარმოადგენს გამოსახულებების ჩამწერ სენსორს. ის შეიცავს ინტეგრირებულ არხებს, რომლებიც შედგებიან ერთმანეთთან დაკავშირებული ან დაწყვილებული კონდენსატორებისაგან და რომლებიც მოქმედებენ მრავალრიცხოვანი პატარა პიქსელების მსგავსად. სინათლე რომელიც ეცემა პიქსელს გარდაიქმნება მუხტის იმპულსში ციფრულ ფორმაში გარდაქმნის შედეგად. განსაკუთრებული ზედაპირული

სტრუქტურის გამო მუხტი გროვდება და ინახება პიქსელში. რაც უფრო მეტი სინათლე დაეცემა პიქსელზე, მით მეტი მუხტი დაგროვდება მასში მანამ, სანამ არ მოხდება პიქსელის გაჯერება. მუხტის რაოდენობა, ყოველ პიქსელში წარმოადგენს მასზე დაცემული სინათლის ინტენსივობის საზომს, რომელიც შემდეგ ამოიკითხება ხმკ-ის ელექტრონიკის მიერ და გარდაიქმნება გამოსახულებად.

ხმკ-ის მუშაობის პრინციპი შეიძლება წარმოდგენილ იქნას ე.წ. „ქოთნების წყობის“ სახით (ნახ. 35). აქ წვიმის წვეთები მხატვრული გაგებით შეესაბამება ფოტონებს, ხოლო ქოთნები - პიქსელებს.

ხმკ-ს მიერ დაფიქსირებულ რადიოაქტიურ გამოსახულებაში სიკაშკაშის განაწილება დამოკიდებულია პიქსელების ნაკრების სხვადასხვა უბანში დაცემული სინათლის ინტენსივობაზე. როცა „წვიმა“ გადაიღებს, ანუ ფოტონების დაცემა შეწყდება, ქოთნები იწყებენ მოძრაობას სტრიქონ-სტრიქონ ვერტიკალური მიმართულებით დაბლა, სანამ არ მიაღწევენ ჰორიზონტალურ კონვეიერს. აქ თითოეულ სტრიქონში შემავალი ქოთანი დაიცლება და მათი შიგთავსი მოთავსდება ჰორიზონტალურ კონვეიერის ქოთნებში, საიდანაც ისინი წაიღება გასაზომად და გასაანალიზებლად [31,



ნახ. 35. ხმკ/CCD დეტექტორის მუშაობის პრინციპი „ქოთნების წყობა“

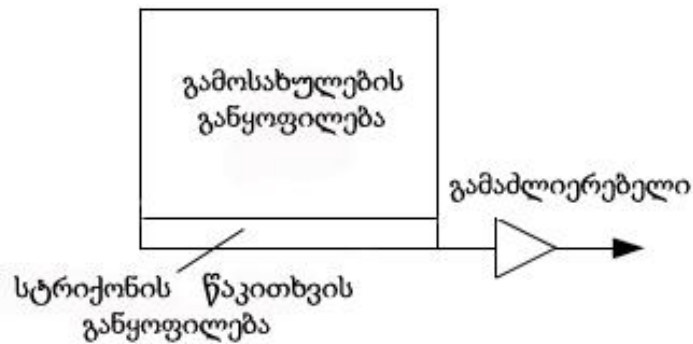
32]. ხმკ-ში ინტეგრირებულია გამოსახულების სენსორი, მაგალითად ისეთი როგორცაა ფოტოელექტრული მოწყობილობა მუხტების გენერირებისთვის. სენსორების ამოიკითხვა ხმკ-ის ელექტრონიკის მიერ. ეს ფაქტორი ხმკ-ს ხდის მთავარ ტექნოლოგიურ ინსტრუმენტად ციფრული გამოსახულებების ფორმირების პროცესში. თუმცა ხმკ არ არის ერთადერთი ტექნოლოგია რომელიც სინათლის დეტექტირების საშუალებას იძლევა, მას ფართოდ იყენებენ სამეცნიერო, სამედიცინო თუ ფოტოგრაფიის სფეროებში, სადაც განსაკუთრებით მაღალი ხარისხის გამოსახულებებია საჭირო.

ხმკ-ში გამოსახულებების გადასაღებად გამოიყენება ფოტოაქტიური რეგიონი (სილიციუმის ეპიტაქსიური შრე) და გადაცემის უბანი, რომელიც დაკომპლექტებულია პიქსელური რეგისტრებით. ციფრული ფოტოკამერის შემთხვევაში გამოსახულება პროეცირდება ოპტიკური ლინზების გავლენით კონდენსატორების ნაკრებში (ფოტოაქტიური რეგიონი), რაც იწვევს ყოველ კონდენსატორში ელექტრული მუხტის აკუმულირებას, რომელიც პროპორციულია ამ უბანში დაცემული სინათლის ინტენსივობისა. გამოსახულების დაფიქსირების შემდეგ, საკონტროლო არხი უზრუნველყოფს ყოველი კონდენსატორის შემცველობის გადაცემას მეზობელი კონდენსატორისთვის, უკანასკნელი კონდენსატორი მუხტს გადასცემს მუხტის მამლიერებელს, რომელიც თავის მხრივ მუხტს გარდაქმნის ძაბვაში. ამ პროცესის განმეორებით, საკონტროლო არხი გარდაქმნის ყოველი პიქსელის შესაბამის მუხტს ძაბვების მიმდევრობაში. ციფრულ მოწყობილობაში ეს ძაბვები საბოლოო ჯამში გარდაიქმნებიან ციფრულ ფორმაში.

ხმკ მზადდება P ტიპის სილიციუმისაგან და შეიცავს ელემენტების ან პიქსელების ერთ ან ორგანზომილებიან ნაკრებს, რომელთაც შეუძლიათ ლოკალური, ფოტონებისგან გენერირებული მუხტების შენახვა. ხმკ-ის ტიპიური სქემა ნაჩვენებია ნახ. 36-ზე. მისი ძირითადი ნაწილია გამოსახულების და სტრიქონის წაკითხვის განყოფილება [31].

გამოსახულების განყოფილებაში დაგროვილი მუხტები სტრიქონ-სტრიქონ გადაადგილდებიან სტრიქონის წაკითხვის განყოფილებაში და შემდეგ ყოველი პიქსელის შემცველობა თანმიმდევრულად ინაცვლებს ხმკ-ს გამომავალი კვანძისკენ, სადაც ხდება მათი გაძლიერება და გაზომვა.

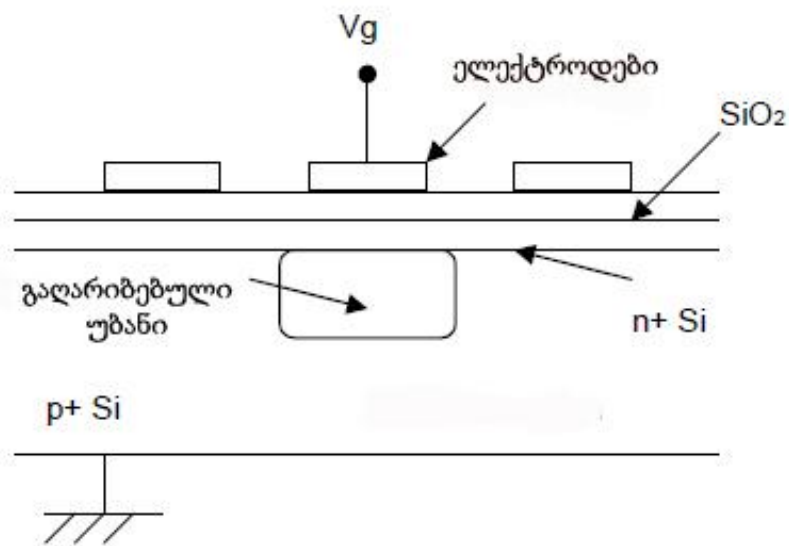
ხმკ-ში მუხტის დამაგროვებელ ელემენტებს, როგორც წესი



ნახ. 36. სტანდარტული ხმკ დეტექტორის ტიპური სქემა

წარმოადგენენ მეტალ-ორჟანგ-ნახევარგამტარული (მონ) კონდენსატორები.

ისინი შედგებიან გამტარი ელექტროდებისაგან, რომლებიც დაფენილია სილიციუმის ფუძეშრზე. ელექტროდებსა და სილიციუმის ფუძეშრეს



ნახ. 37. ხმკ-ის პიქსელური სტრუქტურა

შორის მოთავსებულია სილიციუმის ორჯანგის საიზოლაციო ფენა (ნახ. 37) [29]. ყოველი პიქსელი შეიცავს მონ ტიპის კონდენსატორების გარკვეული რაოდენობის (ჩვეულებრივ 3) წყვილებს.

დადებითი ძაბვა ერთ-ერთ ელექტროდზე წარმოქმნის ხვრელებით გადარიბებულ შრეს მის ქვეშ. $n+$ სილიციუმის შრე ცვლის გადარიბებული შრის პოტენციალურ პროფილს და საშუალებას იძლევა მოხდეს მუხტების დაგროვება.

ელექტროსტატიკური პოტენციალი, თუ მას დავახასიათებთ სილიციუმის ფენის სიღრმეში ელექტრული ველის ცვლილების მიხედვით, შეიძლება გამოვსახოთ პუასონის განაწილებით :

$$\frac{d^2V}{dx^2} = \frac{e(N_d^+(x) - N_a^-(x) - n(x) + p(x))}{\epsilon_{Si}\epsilon_0},$$

სადაც e არის ელექტრული მუხტის ერთეული, N_d^+ წარმოადგენს დონორის კონცენტრაციას $P+$ სილიციუმში, ხოლო N_a^- - მიმღების კონცენტრაციას $n+$ სილიციუმში. n და p არის თერმულად წარმოქმნილი ელექტრონებისა და ხვრელების რიცხვი, ხოლო ϵ_{Si} და ϵ_0 წარმოადგენენ დიელექტრიკულ მუდმივებს სილიციუმისა და ვაკუუმისთვის [33].

ხმკ თავიდან შეიქმნა როგორც შემნახველი მოწყობილობა, რომელშიც მეხსიერების რეალიზება უნდა მოეხდინა ფიზიკურ სიდიდეს-ინფორმაციის ერთ ბიტს. ამასთან გათვალისწინებული უნდა ყოფილიყო მექანიზმები ბიტის არსებობა-არარსებობის ამოსაცნობად (წაკითხვის ოპერაცია) და ინფორმაციის შესაქმნელ/წასაშლელად (ჩაწერისა და წაშლის ოპერაციები). ხმკ-ში ინფორმაციის ბიტი წარმოიდგინება მუხტების პაკეტების სახით, რომელთა შენახვაც მონ ტიპის კონდენსატორის გადარიბებულ უბანში.

ხმკ-ს შიდა არხში მუხტები გადაადგილდებიან მონ ტიპის კონდენსატორების ერთმანეთთან მიჯრით განთავსებით და მათ შესასვლელეზე ძაბვის დონეების ცვლილებით. ამ მეთოდით მუხტები ერთი კონდენსატორიდან გადაინაცვლებენ მეორეში, საიდანაც მოდის სახელწოდება *ხელსაწყო მუხტური კავშირით*, ინგლისურად *Charge Coupled Device*.

რენტგენის სხივების დეტექტირებისათვის გამოყენებულ ხმკ ტიპის დეტექტორებს გააჩნიათ მთელი რიგი უპირატესობები სხვა დეტექტორებთან შედარებით, კერძოდ:

1. მაღალი ხარისხის შიდა სივრცული გარჩევისუნარიანობა დაბალი ენერგიის რენტგენის სხივებისათვის.
2. დაგროვილი მუხტების მაღალი სიზუსტით რეგისტრაცია .
3. მაღალი დონის კვანტური ეფექტურობა(კე). ის განისაზღვრება, როგორც დეტექტირებული რენტგენის სხივების ინტენსივობის ფარდობა საწყისი რენტგენის სხივების ინტენსივობასთან და გამოსახება ან პროცენტებში ან რიცხვითი მნიშვნელობით 0 დან 1 მდე.
4. წრფივობის მაღალი ხარისხი. წრფივობა არის მაჩვენებელი, თუ როგორი თანმიმდევრობით რეაგირებს ხმკ სინათლეზე. მაგალითად, თუ 1 წამიანი ნათების დროს, რადიოაქტიური წყარო წარმოშობს 1000 ელექტრონს, მაშინ 10 წამიანი ნათების დროს უნდა წარმოიქმნას ათჯერ მეტი ანუ 10 000 ელექტრონი.
5. ოპტიკური ხმკ ებისაგან განსხვავებით, რენტგენული ხმკ-ები უზრუნველყოფენ ყოველი ფოტონის ინდივიდუალურ დეტექტირებას, რომელთა ენერგიები გაცილებით მაღალია ხილული სინათლისა. ეს უზრუნველყოფს გამოსახულების განსაკუთრებით მაღალ ხარისხს.

ხმკ-ებს, როგორც რენტგენის სხივების ეფექტურ სენსორს ხდის გაფართოებული გაღარიბებული შრე სილიციუმის ზედაპირის სიახლოვეს. ნახევარგამტარულ ფიზიკაში გაღარიბებული შრე არის საიზოლაციო შრე

ლეგირებულ ნახევარგამტარულ მასალაში, სადაც მუხტის მატარებლები გაფანტულია ელექტრული ველის ზეგავლენით [33].

როდესაც ფოტო ელექტრონი ურთიერთქმედებს დეტექტორის სილიციუმის შრესთან, წარმოიქმნება ელექტრონებისა და ხვრელების დრუბელი. თუ ამ ურთიერთქმედებას ადგილი აქვს გადარიბებულ უბანში, მაშინ ელექტრული ველის ზეგავლენით ყველა ელექტრონი გაირიყება და შეგროვდება პოტენციურ ველში. გადარიბებული შრის სისქე განსაზღვრავს ხმკ-ს მიერ მაღალი ენერგიების დეტექტირების ზღვარს. ამის გამო ხმკ-ები, რომლებიც დამზადებულნი არიან მაღალი წინაღობის ფუძემშრეების ბაზაზე განსაკუთრებით პოპულარულია.

გადარიბებული შრის სისქე წარმოადგენს პარამეტრს, რომელიც განსაზღვრავს ხმკ ტიპის დეტექტორის კვანტურ ეფექტურობას. მაღალი ენერგიის რენტგენის სხივების დეტექტირების ზღვარი ხმკ-ის ერთ-ერთი მნიშვნელოვანი პარამეტრია. გადარიბებული შრის სისქე მთავარი განმასხვავებელია რენტგენის სხივების ხმკ-ს და სხვა ტიპის ხმკ-ებს შორის. ოპტიკური ხმკ-ებისათვის ეს პარამეტრი ნაკლებია 5 მკმ-ზე, ამიტომ მათ არ შეუძლიათ რენტგენის სხივების დეტექტირება, რომელთა ენერგიებიც მეტია 2 კეე-ზე.

რენტგენის სხივების ნივთიერებასთან ურთიერთქმედებისას ისინი ნაწილობრივ შთანთქმებიან და ნაწილობრივ გააღწევენ. ფოტონის ნაკადის ინტენსივობა მცირდება შემდეგი დამოკიდებულების თანახმად:

$$I=I_0e^{-\mu x},$$

სადაც I არის გადაცემული ნაკადის ინტენსივობა, I_0 საწყისი ნაკადის ინტენსივობა, μ წარმოადგენს წრფივი შთანთქმის კოეფიციენტს, e - ნეპერის რიცხვს, ხოლო x ნივთიერების სისქეს (ნახ. 38).

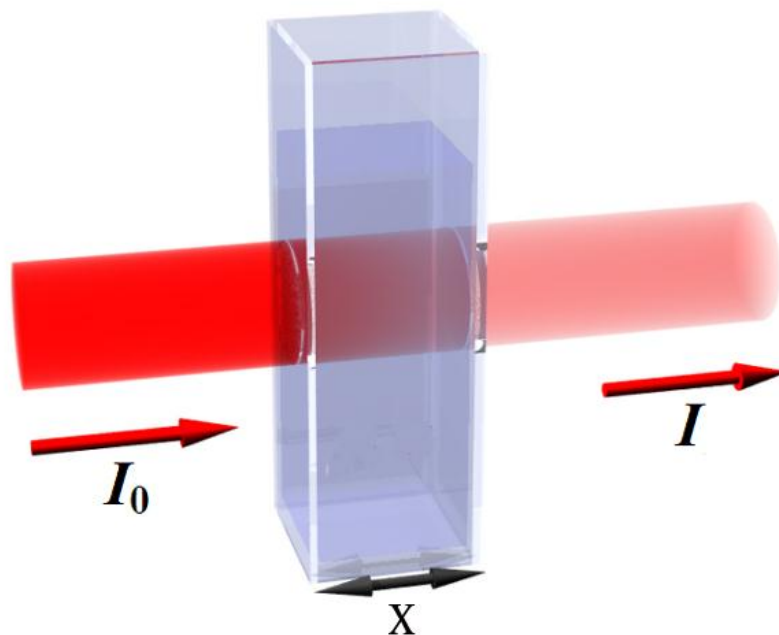
წრფივი μ და მასური α შთანთქმის კოეფიციენტები ერთმანეთთან დაკავშირებულია შემდეგნაირად,

$$\alpha = \frac{\mu}{\rho},$$

სადაც ρ არის ნივთიერების სიმკვრივე.

გადაცემული ფოტონების ნაკადი განისაზღვრება შემდეგი ფორმულით

$$T = \frac{I}{I_0} = e^{-\mu x}.$$



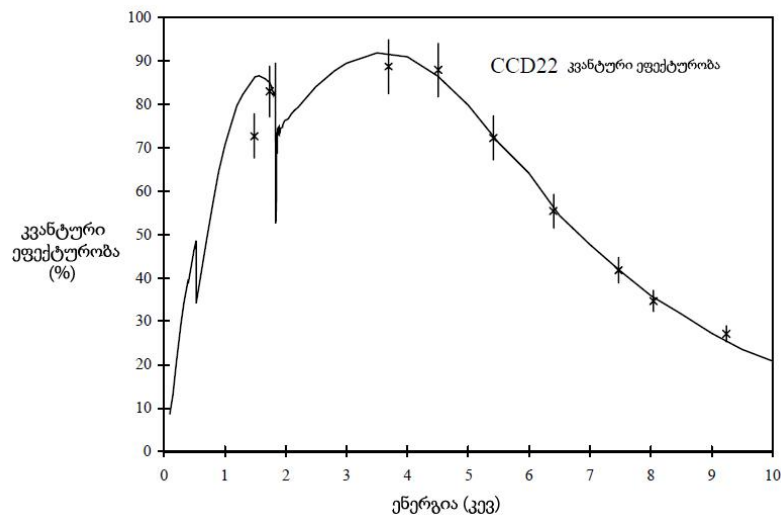
ნახ. 38. რენტგენის სხივების ურთიერთქმედება ნივთიერებასთან

შესაბამისად, შთანთქმული ნაწილი გამოითვლება ფორმულით

$$A = \frac{I_0 - I}{I_0} = 1 - e^{-\mu x}$$

ნახ. 39-ზე ნაჩვენებია ექსპერიმენტში გამოყენებული ხმკ-ის კვანტურ ეფექტურობა 1-10 კილოელექტრონვოლტის (კევ) საზღვრებში. მოყვანილი მრუდი წარმოადგენს მარტივ ანალიტიკურ მოდელს დეტექტორის სილიციუმის ფენაში და ვაკუუმური კრიოსტატის ბერილიუმის ფანჯარაში ფოტონების შთანთქმის გათვალისწინებით [33].

ფოტო ელექტრონის მცირე განფენილობის გამო, წარმოქმნილი მუხტი აკუმულირდება ან ერთ პიქსელში ან იყოფა ორ მეზობელ პიქსელს შორის. უფრო მსხვილი კონფიგურაციები (მაგალითად, როდესაც მუხტი გადანაწილდება ოთხ პიქსელში) ჩნდება მაღალი ენერგიის რენტგენის სხივების შემთხვევაში, რომლებიც გარდაიქმნებიან გადარიბებული შრის საზღვარზე, რაც თავის მხრივ იწვევს მუხტების გაფანტვას.

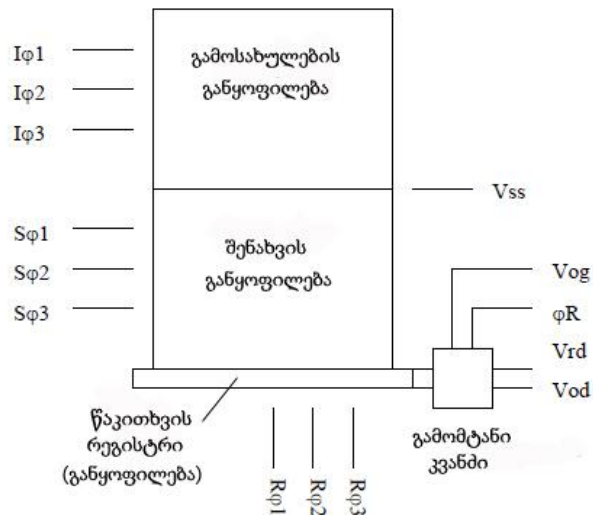


ნახ. 39. ხმკ-ს კვანტური ეფექტურობა

ყველა პიქსელის ჯამური მუხტის ამპლიტუდა შეესაბამება საწყისი ფოტონის ჯამურ ენერგიას. ხმკ დეტექტორების ფუნქციონირება ბევრი სხვა ტიპის დეტექტორებისგან განსხვავებით მოითხოვს დიდი რაოდენობით სამართავ სიგნალებს - ციფრულ დროით იმპულსებს დეტექტორის სხვადასხვა განყოფილებასთან სამუშაოდ და ძაბვებს, რომლებიც საჭიროა დეტექტორის გამართულად მუშაობისთვის [29]. ამასთან ერთად აუცილებელია დაბალხმაურიანი ელექტრონიკის

გამოყენება და მთელი რიგი ფაქტორების გათვალისწინება, რამაც უნდა უზრუნველყოს დეტექტორიდან წაკითხული მონაცემების გაწმენდა ხმაურისაგან.

დეტექტორის ელექტრული კავშირის არხები უზრუნველყოფენ სამუშაო ციფრული იმპულსებისა და ძაბვების გენერირებას (ნახ. 40). დეტექტორის გამოსასვლელი ანალოგური სიგნალი ძლიერდება და გარდაიქმნება ციფრულ ფორმაში ანალოგურ-ციფრული გარდამქმნელის საშუალებით. ციფრული მონაცემები იწერება კომპიუტერის მყარ დისკზე შემდგომი ანალიზისათვის.



ნახ. 40. ტიპური ციფრული დროითი იმპულსები და სამუშაო ძაბვები ხმკ დეტექტორისთვის

აღსანიშნავია, რომ გამოსახულების განყოფილებასთან სამუშაოდ გამოიყენება $I\phi 1$, $I\phi 2$, $I\phi 3$ სიგნალების ჯგუფი, შენახვის განყოფილებასთან სამუშაოდ - $S\phi 1$, $S\phi 2$, $S\phi 3$, ხოლო სტრიქონის წაკითხვის განყოფილებასთან სამუშაოდ - ϕR , $R\phi 1$, $R\phi 2$ და $R\phi 3$ ციფრული სიგნალების ჯგუფი. მათი დანიშნულება და არსი აღწერილია შემდეგ თავებში.

ხმკ როგორც წესი შედგება ინტეგრირებული არხისგან, რომელიც მოიცავს დიდი რაოდენობით მეტალ-ორჟანგ-ნახევარგამტარულ

კონდენსატორებს და გარე გამაძლიერებელს. კონდენსატორები უზრუნველყოფენ ფოტონების დაცემის შედეგად გენერირებული მუხტის შეგროვებასა და გადაცემას, ხოლო გარე გამაძლიერებლის ფუნქციაა მუხტების დაბვაში გარდაქმნა.

დეტექტორის ფუნქციონირებისთვის აუცილებელი ძაბვების აბრევიატურები და მათი ოპტიმიზირებული მნიშვნელობები მოყვანილია ცხრილ 2-ში.

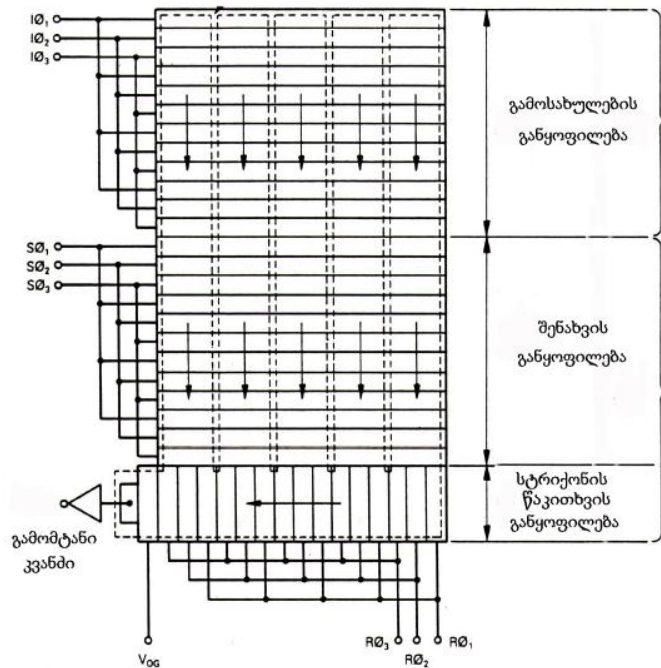
ძაბვის დასახელება	აღნიშვნა	ოპტიმალური მნიშვნელობა (ვოლტი)
გამოსახულების განყოფილება	$I_{\phi 1}, I_{\phi 2}, I_{\phi 3}$	3.5
შენახვის განყოფილება	$S_{\phi 1}, S_{\phi 2}, S_{\phi 3}$	7.5
წაკითხვის განყოფილება	$R_{\phi 1}, R_{\phi 2}, R_{\phi 3}$	13
გადატვირთვის იმპულსი	φR	9.5
პირველი გამომავალი დრენაჟი	1 Vod	20
მეორე გამომავალი დრენაჟი	2 Vod	20
მესამე გამომავალი დრენაჟი	3 Vod	20
ძაბვა გამოსასვლელზე	Vog	1.9
დამცავი რგოლი	Vgr	20
ფუძემდრის ძაბვა	Vss	1.5
შემავალი დრენაჟი	Vid	16.8
გადამტვირთი დრენაჟი	Vrd	15.3
კოლექტორული ძაბვა	Vcc	5

ცხრილი 2. დეტექტორის სამუშაო ძაბვების ოპტიმალური მნიშვნელობები

2.1.8 ხმკ ტიპის დეტექტორიდან მონაცემთა წაკითხვა ციფრული დროითი იმპულსებით

ნახ. 41-ზე ნაჩვენებია მონაცემთა კადრის გადაცემის პრინციპზე მომუშავე დეტექტორების სტრუქტურა გამოიყენება გამოსახულების

განყოფილების ფორმირების და შენახვის განყოფილებაში მონაცემთა გადასაცემად. თითოეულ სტრიქონში პიქსელები ერთმანეთთან დაკავშირებულნი არიან საერთო ელექტროდის, ხოლო სვეტებში - არხების საშუალებით. შენახვის განყოფილების ქვეშ მდებარეობს სტრიქონის

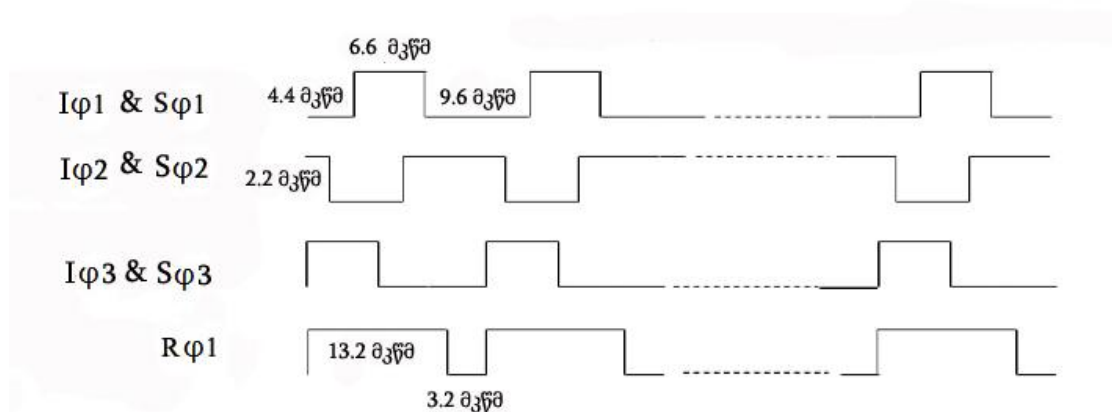


ნახ. 41. მონაცემთა კადრის გადაცემის პრინციპით მომუშავე ტიპური სამფაზა დეტექტორის სქემა

წაკითხვის სექცია, რომელმაც უნდა უზრუნველყოს შენახვის განყოფილებიდან სტრიქონ-სტრიქონ წაკითხული მონაცემების პიქსელების დონეზე ინდივიდუალური დამუშავება. ყოველი პიქსელიდან წაკითხული მუხტი მიეწოდება გამომტან კვანძს, საიდანაც მიემართება ანალოგურ-ციფრული გარდამქმნელისკენ. როგორც უკვე აღვნიშნეთ რენტგენის სხივებისადმი მგრძნობიარე დეტექტორი შედგება 3 ძირითადი განყოფილებისაგან: **გამოსახულების, შენახვის** და შენახვის სექციიდან **სტრიქონის წაკითხვის განყოფილებისგან**. თითოეულ მათგანთან სამუშაოდ საჭიროა სპეციფიკური ციფრული დროითი იმპულსების ნაკრები.

გამოსახულების განყოფილება. ეს განყოფილება შედგება 600 x 600 პიქსელისაგან, რომლებზეც რენტგენის სხივების ფოტონების დაცემის შედეგად წარმოიქმნება მუხტები, რომლებიც აკუმულირდება ინდივიდუალურ პიქსელებში. ფოტონების დაცემა და მუხტების გენერირება ხდება განუწყვეტლივ, შესაბამისად საჭიროა გარკვეული დროითი ინტერვალის განსაზღვრა, რომლის მიხედვითაც ამ განყოფილებაში დაგროვილი მუხტები პიქსელების მიხედვით გადაიცემა მომდევნო, შენახვის განყოფილებაში. აღსანიშნავია, რომ ეს დრო უნდა აღემატებოდეს შენახვის განყოფილებიდან მონაცემთა ამოსაკითხად აუცილებელ დროს, წინააღმდეგ შემთხვევაში ცდომილებებით გამოწვეული გამოსახულების დამახინჯება გარდაუვალია.

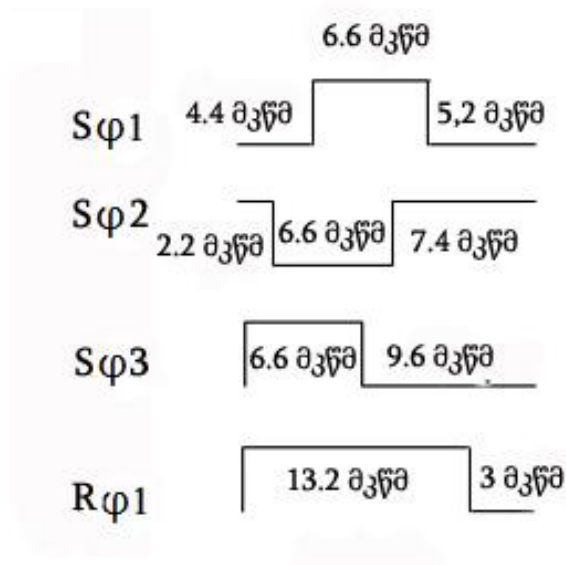
შენახვის განყოფილება. მონაცემები გადაიცემა შენახვის განყოფილებაში, რომელიც ფაქტიურად წარმოადგენს ბუფერს გამოსახულების განყოფილებისთვის. იგი დაცულია ფოტონებისგან და მონაცემთა წაკითხვა შესაძლებელია ნებისმიერი სიჩქარით. შესაბამისად, მიღებული გამოსახულება საკმაოდ მკვეთრი და ხარისხიანია. გამოსახულების განყოფილებიდან შენახვის განყოფილებაში მონაცემთა გადასაცემად ერთდროულად გამოიყენება $I\phi_1$, $I\phi_2$, $I\phi_3$, $R\phi_1$ და $S\phi_1$, $S\phi_2$, $S\phi_3$, $R\phi_1$ ციფრული იმპულსების ნაკრები (ნახ. 42).



ნახ. 42. გამოსახულების და შენახვის განყოფილებებთან სამუშაო იმპულსების სტრუქტურა

ნახ. 43-ზე ნაჩვენებია ის ციფრული დროითი იმპულსების ნაკრები, რომლებიც საჭიროა დეტექტორის გამოსახულების და შენახვის განყოფილებებთან სამუშაოდ. იმპულსების რაოდენობა თითოეულ სტრიქონში შეესაბამება დეტექტორის განყოფილებებში პიქსელური სტრიქონების რაოდენობას. კერძოდ, რადგან გამოსახულების განყოფილება შედგება 600 სტრიქონისგან, ნახ. 43-ზე ნაჩვენები ციფრული იმპულსების ნაკრების გენერაცია უნდა მოხდეს 600-ჯერ. შედეგად, აღნიშნული განყოფილების ყველა სტრიქონი გადაიწერება შენახვის განყოფილებაში. ამ უკანასკნელიდან სტრიქონის წაკითხვის განყოფილებაში ყოველ ჯერზე საჭიროა მხოლოდ ერთი სტრიქონის გადაცემა, ამიტომ ამ ოპერაციისთვის საკმარისია შენახვის განყოფილებასთან მომუშავე სიგნალების ჯგუფის (Sφ1, Sφ2, Sφ3, Rφ1) მხოლოდ ერთი იმპულსის გენერირება.

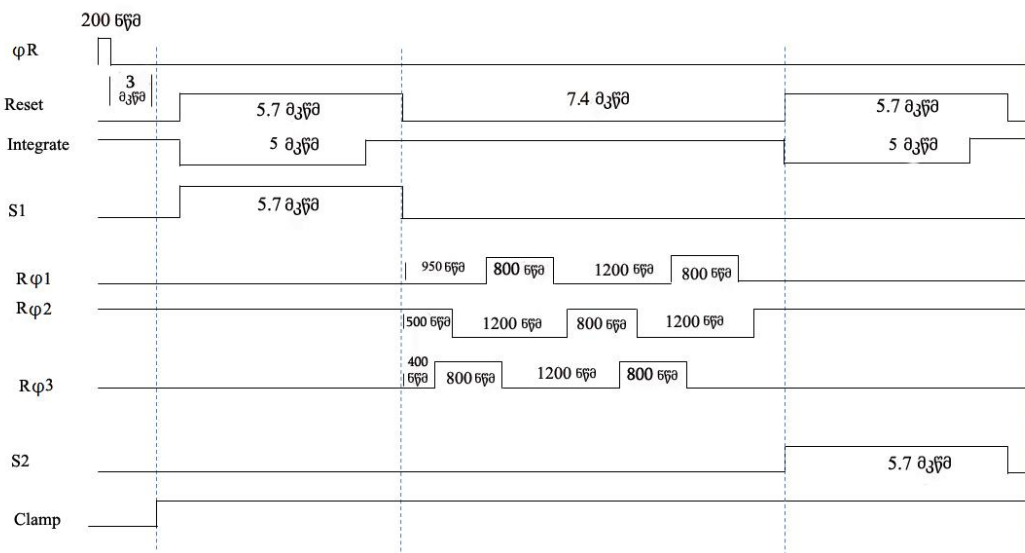
როგორც ნახ. 43-ზე ჩანს თავდაპირველად ერთდროულად გენერირდებიან Sφ3 და Rφ1 იმპულსები. Rφ1 წარმოადგენს R ჯგუფის იმპულსებიდან პირველს სტრიქონის წაკითხვის განყოფილებიდან მონაცემთა ამოსაკითხად. აქ ის იმიტომ გენერირდება, რომ მოამზადოს შესაბამისი უბანი მონაცემთა მისაღებად. 2.2 მკწმ დაყოვნების შემდეგ



ნახ. 43. შენახვის განყოფილებიდან მონაცემთა ერთი სტრიქონის ამოსაკითხად საჭირო სიგნალები

გვხვდება S ჯგუფის იმპულსებიდან მეორე, Sφ2, ხოლო 4.4 მკწმ დაყოვნების შემდეგ Sφ1. ერთი განყოფილების მომსახურე ყველა ციფრულ სიგნალს გააჩნია ერთნაირი პარამეტრები, კერძოდ, იმპულსის ხანგრძლივობა 6.6 მკწმ-ს, ხოლო დაყოვნება 9.6 მკწმ-ს შეადგენს. გამოსახულების განყოფილებიდან შენახვის განყოფილებაში მონაცემთა ერთი სტრიქონის გადასაცემად საჭირო დრო შეადგენს 16.2 მკწმ-ს, ხოლო მთლიანი გადაცემის დრო - 9.7 მწმ-ს.

შენახვის განყოფილების სტრიქონული წაკითხვა. გამოსახულების განყოფილებიდან შენახვის განყოფილებაში მონაცემთა სრულად გადაცემის შემდეგ, იწყება მონაცემთა სტრიქონ-სტრიქონ გადაცემა სტრიქონის წაკითხვის განყოფილებაში. ის შედგება ერთი სტრიქონისგან, რომელიც შეიცავს 610 პიქსელს. ყოველი პიქსელის წაკითხვა ხორციელდება ინდივიდუალურად და ამისათვის საჭიროა, ციფრული (φR, Rφ1, Rφ2 და Rφ3) სიგნალების ნაკრები, რომლებიც ნაჩვენებია ნახ. 44-ზე. ეს სიგნალები მეორდება ყველა, 610-ივე პიქსელის ამოსაკითხად.



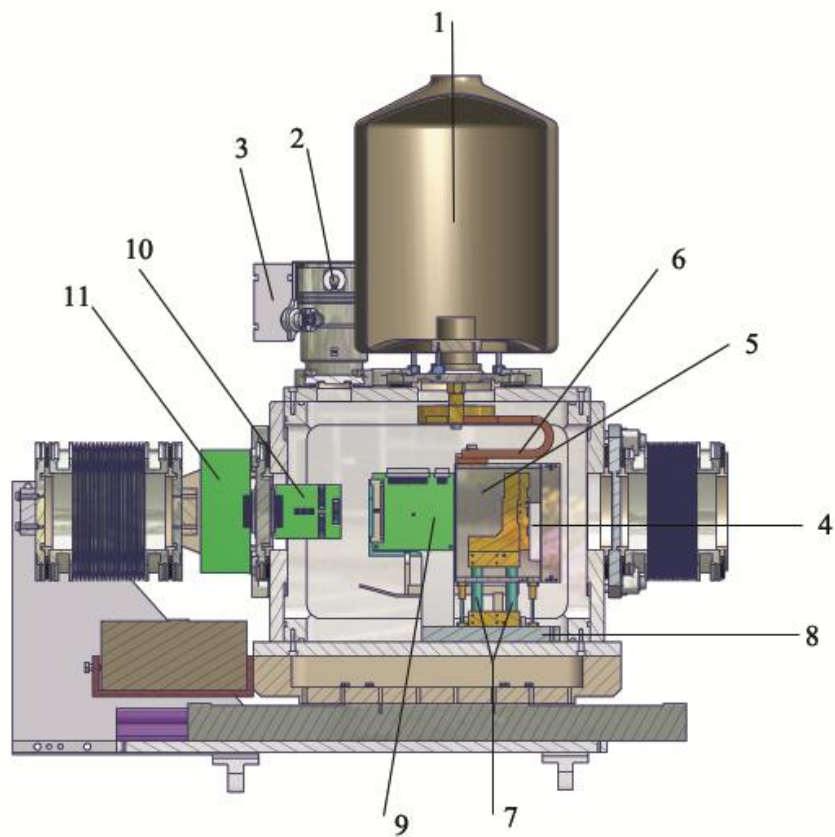
ნახ. 44. ინდივიდუალური პიქსელის ამოსაკითხი ციფრული სიგნალები

დეტექტორის გამოსასვლელი კვანძი ნარჩენი მუხტებისგან იწმინდება გადატვირთვის φR იმპულსის მეშვეობით, რომლის ხანგრძლივობა 200 ნწმ-ია. 3 მკწმ დაყოვნების შემდეგ მაინტეგრებელი (integrate), Reset და აპარატურული ხმაურის დონის გამაანალიზებელი პირველი (S1) იმპულსი ერთდროულად გენერირდება. ისინი წინ უსწრებენ პიქსელების ამომკითხველ სიგნალებს ($R\varphi 1$, $R\varphi 2$ და $R\varphi 3$). $R\varphi 3$ იმპულსი ჩნდება S1 იმპულსის გამოჩენიდან 400 ნწმ-ის შემდეგ, მას მოსდევს $R\varphi 2$ და $R\varphi 1$ იმპულსები. Reset და Integrate სიგნალები ხელმეორედ გენერირდებიან 7.4 მკწმ იანი დაყოვნების შემდეგ, მათ პარალელურად ჩნდება S2 იმპულსი, რომელიც აანალიზებს სიგნალის დონეს უკვე ხმაურთან ერთად. ეს არის ერთგვარი მექანიზმი სუფთა სიგნალის მისაღებად. თუ გაუზომავთ აპარატურული ხმაურის დონეს, შემდეგ კი დეტექტორიდან რეალურ წაკითხულ სიგნალს ხმაურთან ერთად და ამ უკანასკნელს გამოვაკლებთ ხმაურის დონეს, მივიღებთ სუფთა სიგნალს. ნახ. 44-ზე ნაჩვენები სქემის მიხედვით წაკითხული თითოეული პიქსელის შესაბამისი ანალოგური სიგნალი მიეწოდება გამაძლიერებელს, რომელიც ერთის მხრივ გააძლიერებს და მეორეს მხრივ ხმაურისგან წმენდს სიგნალს. S1 და S2 იმპულსები გამოიყენება სიგნალის ხმაურისგან გასაწმენდად, ხოლო Integrate, Reset და Clamp სიგნალები გამოიყენება გაძლიერებისათვის. ყველა სიგნალის შესაბამისი პარამეტრები ნაჩვენებია ნახ. 42-ზე.

შენახვის განყოფილებიდან ერთი სტრიქონის გადაცემისთვის საჭიროა 16.2 მკწმ, სტრიქონის წაკითხვის განყოფილებიდან ერთი პიქსელის ამოსაკითხად- 22 მკწმ. შენახვის განყოფილებიდან ერთი სტრიქონის ამოსაკითხად საჭირო დრო ტოლია $610 \times 22 \text{ მკწმ} = 13.420 \text{ მწმ-ის}$. მთლიანი შენახვის განყოფილების ამოსაკითხად კი საჭიროა 8.088 წმ. თუ ამ დროს დავუმატებთ გამოსახულების განყოფილებიდან შენახვის განყოფილებაში მონაცემთა გადასაცემად საჭირო დროს ჯამში მივიღებთ 8.097 წმ-ს. ეს არის ის დრო, რომელიც საჭიროა ერთი ცალი დეტექტორიდან ინფორმაციის სრულად ამოსაკითხად.

იულისის კრისტალური სპექტრომეტრის ფოკუსური სიბრტყის მქონე დეტექტორი შედგება 6 მაღალი წინაღობის მქონე ინდივიდუალური ხმკ-სგან. დეტექტორების ფართო არე საშუალებას იძლევა ერთდროულად გაიზომოს ენერგიების ფართო ინტერვალი და დაფიქსირდეს ისეთი სტრუქტურები, როგორცაა რენტგენის სხივები.

ნახ. 45-ზე ნაჩვენებია დეტექტორის მექანიკური მოწყობილობის აპარატურული ნაწილები და მათ შორის კავშირი.



ნახ. 45. ხმკ ტიპის დეტექტორის ვაკუუმური კრიოსტატის მოწყობილობა

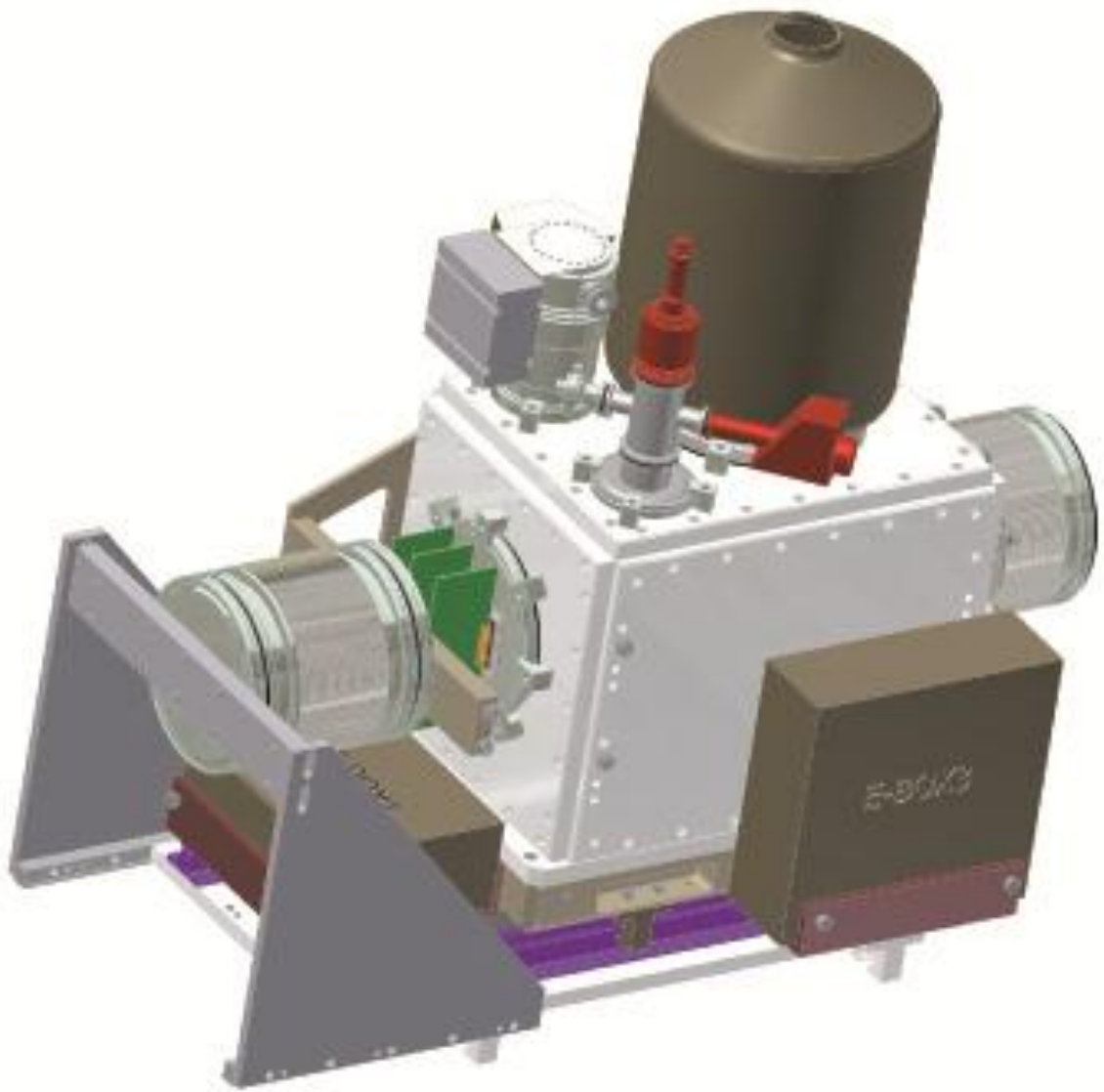
(1) ჭურჭელში მოთავსებული თხევადი აზოტი გამოიყენება დეტექტორის გასაცივებლად. სარქველი (2)-ის დანიშნულებაა ტურბომოლეკულური ტუმბოს (3) იზოლირება დეტექტორის ვაკუუმური კრიოსტატიდან ვაკუუმის შენარჩუნებით. ხმკ დეტექტორები (4) განთავსებულნი არიან ალუმინის ყუთში (5). თხევადაზოტიანი ჭურჭელი

დეტექტორულ სისტემასთან დაკავშირებულია სპილენძის ორი მილსადენით (6), რომლებიც უზრუნველყოფენ დეტექტორისათვის თხევადი აზოტის მიწოდებას. (7) მოწყობილობა უზრუნველყოფს თბოიზოლაციას დეტექტორს და მის სადგარს (8) შორის. (9) წარმოადგენს PT100 სენსორული სისტემიდან ტემპერატურის გამანაწილებელ შიდა პლატას. (10) კი წარმოადგენს შიდა პლატას, რომლის დანიშნულებაა დეტექტორიდან მონაცემთა წაკითხვისათვის საჭირო ციფრული დროითი იმპულსების და სამუშაო ძაბვების განაწილება. კავშირი გარე (11) და შიდა (10) დროითი იმპულსების გამანაწილებელ პლატებს შორის უზრუნველყოფილია 50 კონტაქტიანი ვაკუუმური კონტაქტორით, რომელიც ჩამონტაჟებულია ვაკუუმური კრიოსტატის კედელში. სპეციალური სინთეზატორი გენერირებულ დროით იმპულსებს გადასცემს გარე გამანაწილებელ პლატას, რომელიც შიგა გამანაწილებელი პლატის მეშვეობით გადასცემს მათ ხმკ დეტექტორებს. დეტექტორიდან წამოსული ანალოგური სიგნალი მიეწოდება ისევ ამ პლატებს, რომლებიც შემდეგ ეტაპზე ანალოგურ სიგნალს აწვდიან გამაძლიერებელ მოწყობილობას და ანალოგურ-ციფრულ გარდამქმნელს.

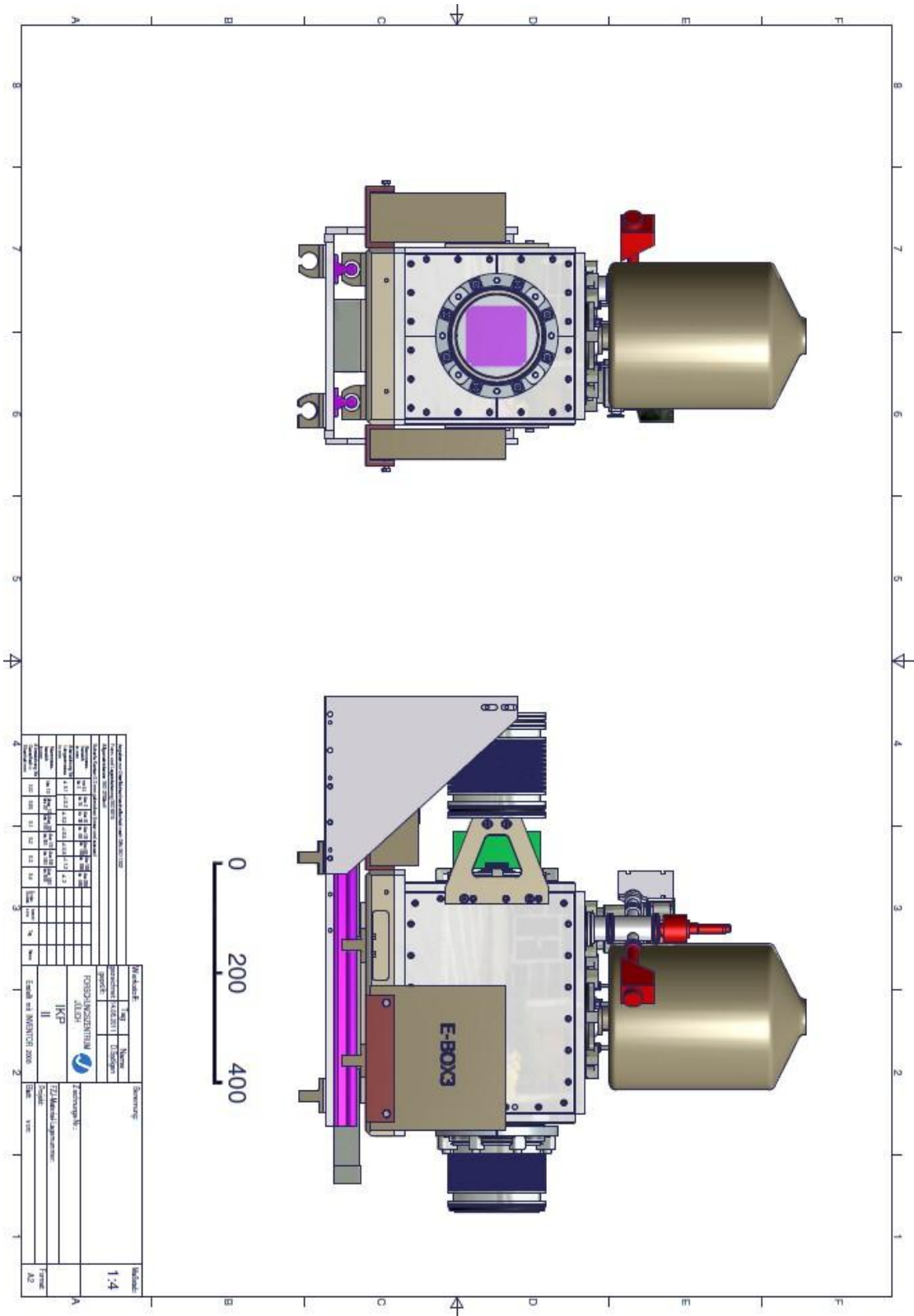
ხმკ ტიპის დეტექტორიდან მონაცემთა კორექტული წაკითხვისათვის აუცილებელია გაცივების სისტემის რეალიზაცია. დეტექტორი ცივდება თხევადი აზოტის საშუალებით $-100\text{ }^{\circ}\text{C}$ ტემპერატურამდე, რაც აუცილებელია თერმულად გენერირებული ე.წ. „ზნელი დენების“ და მათ მიერ გამოწვეული ხმაურის შესამცირებლად.

„ზნელი დენები“ წარმოიქმნება სილიციუმში სითბური ენერჯის ზეგავლენით. პერიოდულად ელექტრონები წარმოიქმნებიან მიუხედავად იმისა რენტგენის სხივები ეცემიან დეტექტორზე თუ არა. ეს ელექტრონები ჩაიჭირებიან დეტექტორის პოტენციური ველით და აღიქმებიან, როგორც რეალური სიგნალი, რაც თავის მხრივ იწვევს დამატებით ხმაურს და ცდომილებებს.

თავდაპირველად ცივდება ალუმინის ყუთი, რომელშიც განთავსებულია დეტექტორი. ის ასრულებს ფილტრის როლს სისტემაში დარჩენილი მცირე რაოდენობის წყლის წვეთებისა ან მინარევებისათვის. ალუმინის ყუთი თავის მხრივ შეფუთულია სუპერსაიზოლაციო მასალით, რათა მაქსიმალურად იყოს შემცირებული გარემოს ტემპერატურის ზეგავლენა.



ნახ. 46. ხმკ დეტექტორის ვაკუუმური კრიოსტატის სამგანზომილებიანი ხედი

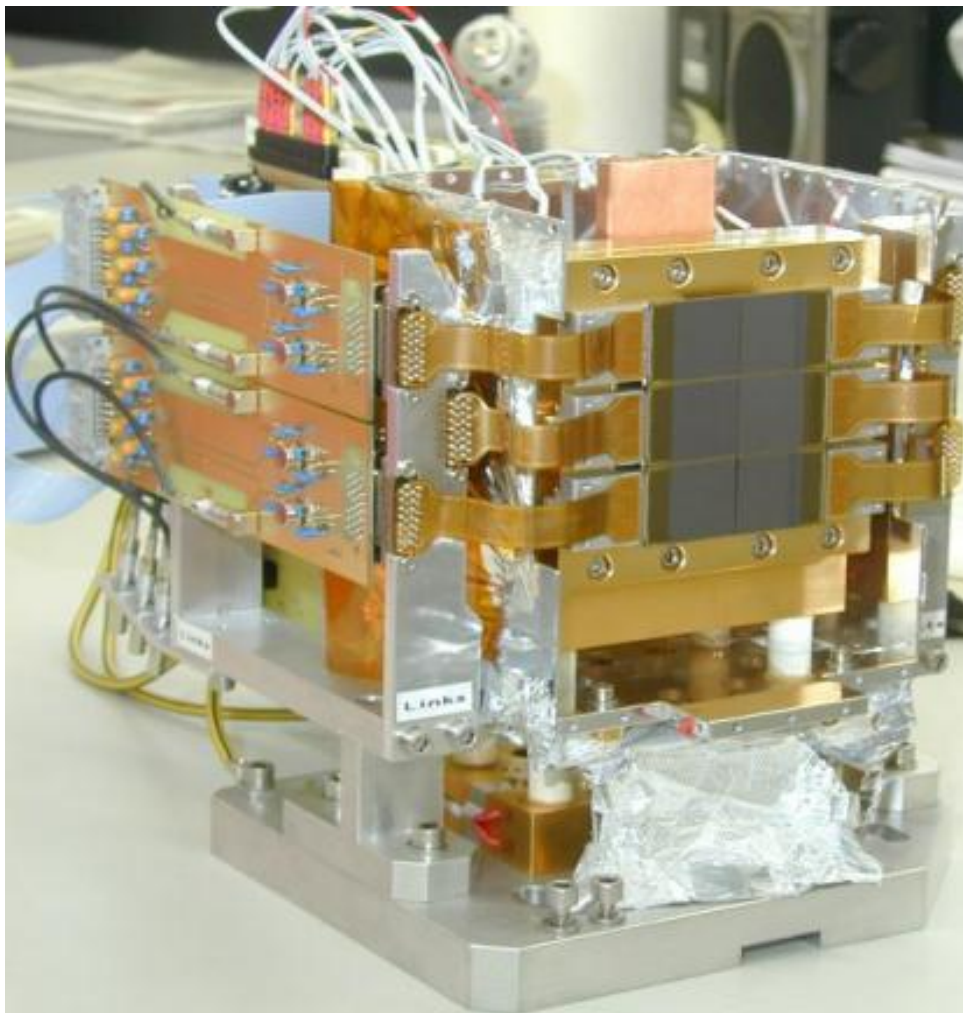


ნახ. 47. ხმკ დეტექტორის ვაკუუმური კრიოსტატის ხედები

ნახ. 47-ზე წარმოდგენილია დეტექტორის წინხედი და გვერდხედი.

წინხედზე ჩანს ბერილიუმის ფანჯარა, რომლის გავლითაც რენტგენის სხივები აღწევს დეტექტორამდე. გვერდხედი კი ასახავს დეტექტორული მოწყობილობის სრულ სურათს.

დეტექტორის სისტემა შედგება 6 ცალი ხმკ-სგან, რომლებიც განლაგებულნი არიან 2 სვეტად. თითოეულ ხმკ-ს გააჩნია 24 მმ x 24 მმ ზომის მგრძნობიარე არე და შეიცავს 600 x 600 კვადრატული ფორმის პიქსელს ზომით 40 მკმ. ხმკ-ებს შორის მაქსიმალური მანძილი ტოლია 500 მკმ-ს, ხოლო მთლიანი დეტექტორული სისტემის მგრძნობიარე არე შეადგენს 48 მმ x 72 მმ-ს (ნახ. 48) [34, 35].



ნახ. 48. ექვსი ხმკ-თი დაკომპლექტებული დეტექტორული სისტემა

ექვსი ხმკ-ს საშუალებით დაკომპლექტებული დეტექტორული სისტემა დამონტაჟებულია ალუმინისგან დამზადებულ ვაკუუმურ კრიოსტატში.

2.1.9 SCADA სისტემის გამოყენება იულიხის კრისტალური სპექტრომეტრის მართვისა და მონიტორინგისათვის

SCADA - დისპეტჩერული მართვისა და მონიტორინგის სისტემა მნიშვნელოვან როლს ასრულებს იულიხის კვლევით ცენტრში არსებული კრისტალური სპექტრომეტრის საიმედო ფუნქციონირებაში. მის როლს წარმოადგენს ვაკუუმური ტუმბოებიდან, სპექტრომეტრის ცალკეული ნაწილების მოძრაობისათვის საჭირო ბიჯური ძრავებიდან, მზომი ხელსაწყოებიდან და გადამცემებიდან ინფორმაციის ამოკითხვა და მთლიანი სისტემის მონიტორინგი და მართვა. *მართვის პროცესი* უზრუნველყოფს საჭირო დროს დისტანციურად სპექტრომეტრის ცალკეული კომპონენტების გაღება-დახურვას, ძრავების ჩართვა-გამორთვას, საგანგაშო სიტუაციების დამუშავებას და მომხმარებლისგან დამოუკიდებლად გადაწყვეტილების მიღებას თუ რა ოპერაცია უნდა შესრულდეს სპექტრომეტრის უსაფრთო ფუნქციონირებისათვის. *მონიტორინგის პროცესის* შედეგად დაგროვილი მონაცემები ინახება ელექტრონულ არქივში, რაც სისტემის მწყობრიდან გამოსვლისას გამომწვევი პრობლემების გაანალიზების საშუალებას იძლევა.

SCADA-სისტემა მონაცემთა მიღება-გადაცემისას იყენებს კოდირებულ სიგნალებს, რომელთა გადაცემა ხორციელდება საკომუნიკაციო არხების საშუალებით. სისტემის მონიტორინგის კომპონენტი უშუალოდ დაკავშირებულია სისტემის ფუნქციონირების სტატუსის შესახებ მონაცემთა დაგროვების პროცესთან, რაც ითვალისწინებს ზემოთხსენებული კოდირებული სიგნალების მეშვეობით სპექტრომეტრის მომსახურე მოწყობილობების მდგომარეობების მუდმივ

კონტროლს (ჩართულია / გამორთულია), მომხმარებლისათვის თვალსაჩინოდ მათ ასახვას კომპიუტერის ეკრანზე და არქივირებას [36].

კრისტალური სპექტრომეტრის მომსახურე SCADA-სისტემის ფუნქციები დაყოფილია ორ ძირითად კატეგორიად: მართვა და მონიტორინგი. მონიტორინგის ქვეშ მოიაზრება ის ოპერაციები, რომლებიც თვალყურს ადევნებენ და ამოწმებენ სპექტრომეტრის კომპონენტების და დაყენებული პარამეტრების სტატუსს [1, 3]. ისინი ემსახურებიან ერთიან პოლიტიკას, რომლის მიზანია მომხმარებელს პერმანენტულად მიეწოდოს მთლიანი სისტემის გამართულობაზე ინფორმაცია. ამგვარად, სპექტრომეტრის მომსახურე პერსონალი დროის რეალურ რეჟიმში და ასევე მონაცემთა არქივის სახით ინფორმირებულია, თუ რომელი კონკრეტული მოწყობილობებია ჩართული/გამორთული, პრობლემატური და თუ პროცესები მიმდინარეობს დაგეგმილი ფორმით. მონიტორინგის პროცესი მოიცავს ეგრეთწოდებულ არააქტიურ ოპერაციებს, ანუ ისეთებს, რომლებიც არ ითვალისწინებენ სისტემის მართვას [7].

მართვა წარმოადგენს კრისტალური სპექტრომეტრის მომსახურე SCADA-სისტემის მეორე მნიშვნელოვან კომპონენტს. ის ითვალისწინებს აქტიურ ოპერაციებს, რომლებიც უშუალოდ დაკავშირებულია მოძრაობასთან/ქმედებასთან, ცალკეული კომპონენტების (კონტროლერების, ამომრთველების, ძრავების) ჩართვა-გამორთვასთან, სპექტრომეტრის მოძრავი კომპონენტების გადაადგილებასთან და ამ ოპერაციების შესაძლო თანმხლები საგანგაშო სიტუაციების გაანალიზებასა და დამუშავებასთან [7].

იულისის კრისტალური სპექტრომეტრის მონიტორინგისა და მართვის ფუნქციები ინტეგრირებული და რეალიზებულია ადამიანი-კომპიუტერი ინტერფეისის სახით, რომელიც წარმოადგენს მომხმარებელსა და სპექტრომეტრს შორის არსებულ გრაფიკულ გარემოს. იგი აადვილებს მომხმარებლის მხრიდან აპარატურაზე ზემოქმედებას. ამ მიდგომით, სისტემის მართვა ხორციელდება გრაფიკული დილაკებით და

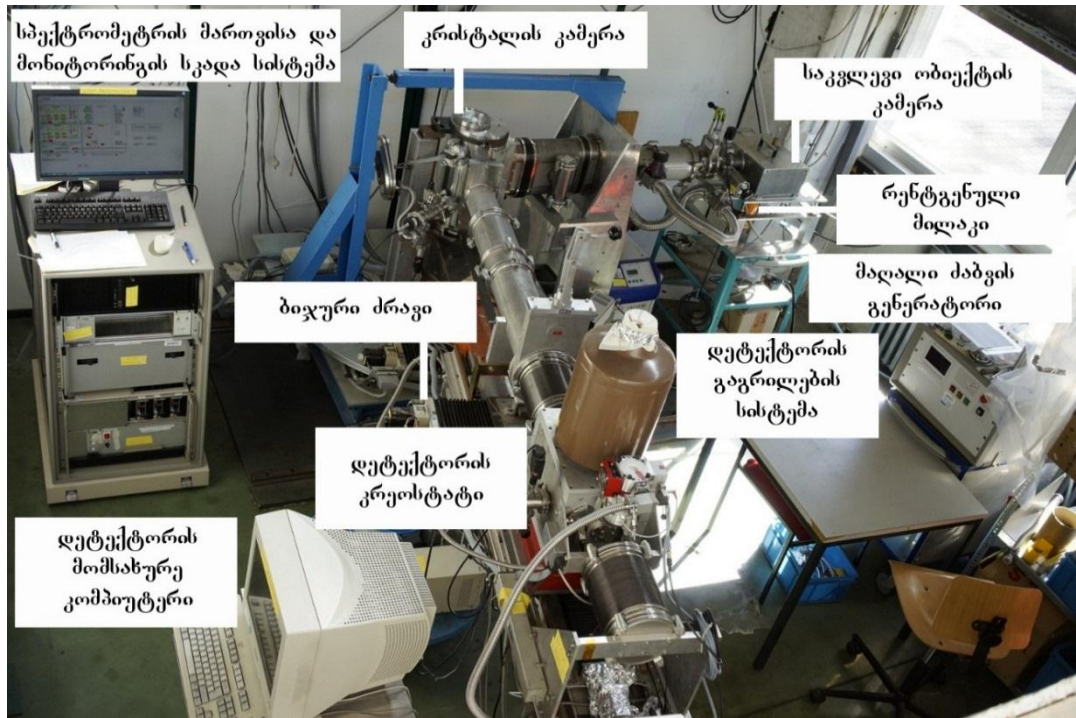
კომპონენტებით, რომლებიც განლაგებულია ადამიანი-კომპიუტერი ინტერფეისის ბაზაზე შექმნილ პროგრამულ პანელზე.

SCADA სისტემა ტექნოლოგიური პროცესის მართვის პროცესში აუცილებლად გულისხმობს ადამიანის მონაწილეობას. სადავო არ არის, რომ SCADA სისტემებს მოეთხოვებათ მაღალი საიმედოობა. დღეისათვის SCADA სისტემაში მტყუნებათა 80% მოდის ადამიანი-ოპერატორის შეცდომაზე და მხოლოდ 20% ფიქსირდება აპარატურულ-პროგრამული საშუალებების ხარვეზებზე. ადამიანი-ოპერატორის უხარვეზო მუშაობისათვის საჭიროა გაიზარდოს ადამიანი-ოპერატორის მომზადების დონე, უნდა გაუმჯობესდეს მისი სამუშაო გარემო, მაგრამ ამასთან უდიდესი მნიშვნელობა აქვს ადამიანი-კომპიუტერის ინტერფეისის ხარისხსაც. თუ ადამიანი-კომპიუტერის ინტერფეისი დაბალი ხარისხისაა, მასთან მუშაობა გაუჭირდება მაღალკვალიფიციურ ოპერატორსაც, რასაც თან მოყვება მისი სწრაფი დაღლილობა, ნერვული სტრესები და შეცდომათა რაოდენობათა ზრდა. SCADA სისტემების ინტერფეისის პროექტირების მეთოდები ძირითადად არ განსხვავდება ზოგადად ადამიანი-კომპიუტერის ინტერფეისის პროექტირების მეთოდებისაგან, მაგრამ მაინც ხასიათდება გარკვეული სპეციფიურობით. იულიხის კრისტალური სპექტრომეტრის მომსახურე SCADA სისტემის ადამიანი-კომპიუტერი ინტერფეისი რეალიზებულია იმ პრინციპების და მეთოდების გათვალისწინებით, რომლების გამოკვლეულია [37]-ში, ელექტრული პარამეტრების გაზომვისა და ვიზუალიზაციის სისტემის არქიტექტურა ეფუძნება [38]-ში შემოთავაზებულ მეთოდს, რომელიც გულისხმობს ტექნოლოგიური პროცესისათვის საჭირო ინფორმაციის წინასწარ სტრუქტურირებას და ექსპლუატაციის პროცესში პროგრამულ-აპარატურული საშუალებებით მის გამოტანას ფართოფორმატიან მონიტორზე.

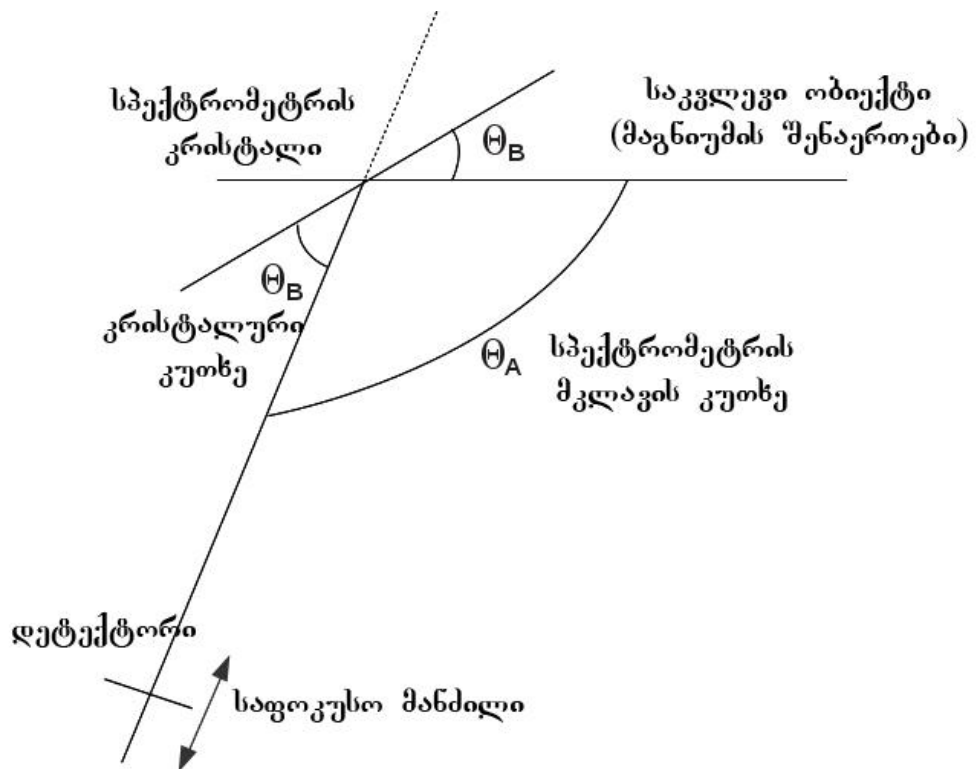
2.1.9.1 სპექტრომეტრის მართვისა და მონიტორინგის SCADA სისტემა Labview პლატფორმაზე

კრისტალური სპექტრომეტრი, რომლის საშუალებითაც მოცემული სადოქტორო სამუშაოს ფარგლებში ხორციელდება ქიმიურ შენაერთებში ქიმიური წანაცვლების ეფექტების ზეზუსტი რენტგენული სპექტროსკოპია, იმართება Labview პლატფორმაზე რეალიზებული SCADA სისტემის მეშვეობით. ამ პლატფორმის ბაზაზე შექმნილი პროგრამული პროდუქტი უზრუნველყოფს სპექტრომეტრის ფუნქციონირებისათვის და სასურველი შედეგის მისაღებად აუცილებელი ყველა ოპერაციის შესრულებას. ის მომხმარებელს საშუალებას აძლევს მარტივი და მოხერხებული ფორმით მართოს სპექტრომეტრი და აწარმოოს მისი სრულყოფილი მონიტორინგი. სპექტრომეტრული სისტემის ძირითადი კომპონენტები ნაჩვენებია ნახ. 49-ზე, ხოლო რეგულირებადი პარამეტრები თვალსაჩინოებისათვის გამოყოფილია - ნახ. 50-ზე. შესასრულებელი ამოცანებიდან გამომდინარე რეგულირებადი პარამეტრებია: *კრისტალის კუთხე* (კრისტალის ორიენტაცია სპექტრომეტრის შემადგენლობაში შემავალი დეტექტორის მიმართ), *სპექტრომეტრის მკლავის კუთხე* (კუთხე კრისტალი-დეტექტორი და კრისტალი-საკვლევი ობიექტი მიმართულებებს შორის), *საფოკუსო მანძილი* (მანძილი კრისტალსა და დეტექტორს შორის).

სპექტრომეტრის მართვისა და მონიტორინგის სკადა სისტემის არქიტექტურა საკმაოდ კომპლექსურია გამოყენებული ელექტრონიკის თვალსაზრისით. სქემატური ნახაზი, რომელიც ასახავს მომსახურე აპარატურულ უზრუნველყოფას ცალკეული მოდულების და მათ შორის არსებული კავშირების გათვალისწინებით ნაჩვენებია ნახ. 51-ზე.



ნახ. 49. იულისის კვლევით ცენტრში არსებული კრისტალური სპექტრომეტრი და მისი ძირითადი კომპონენტები



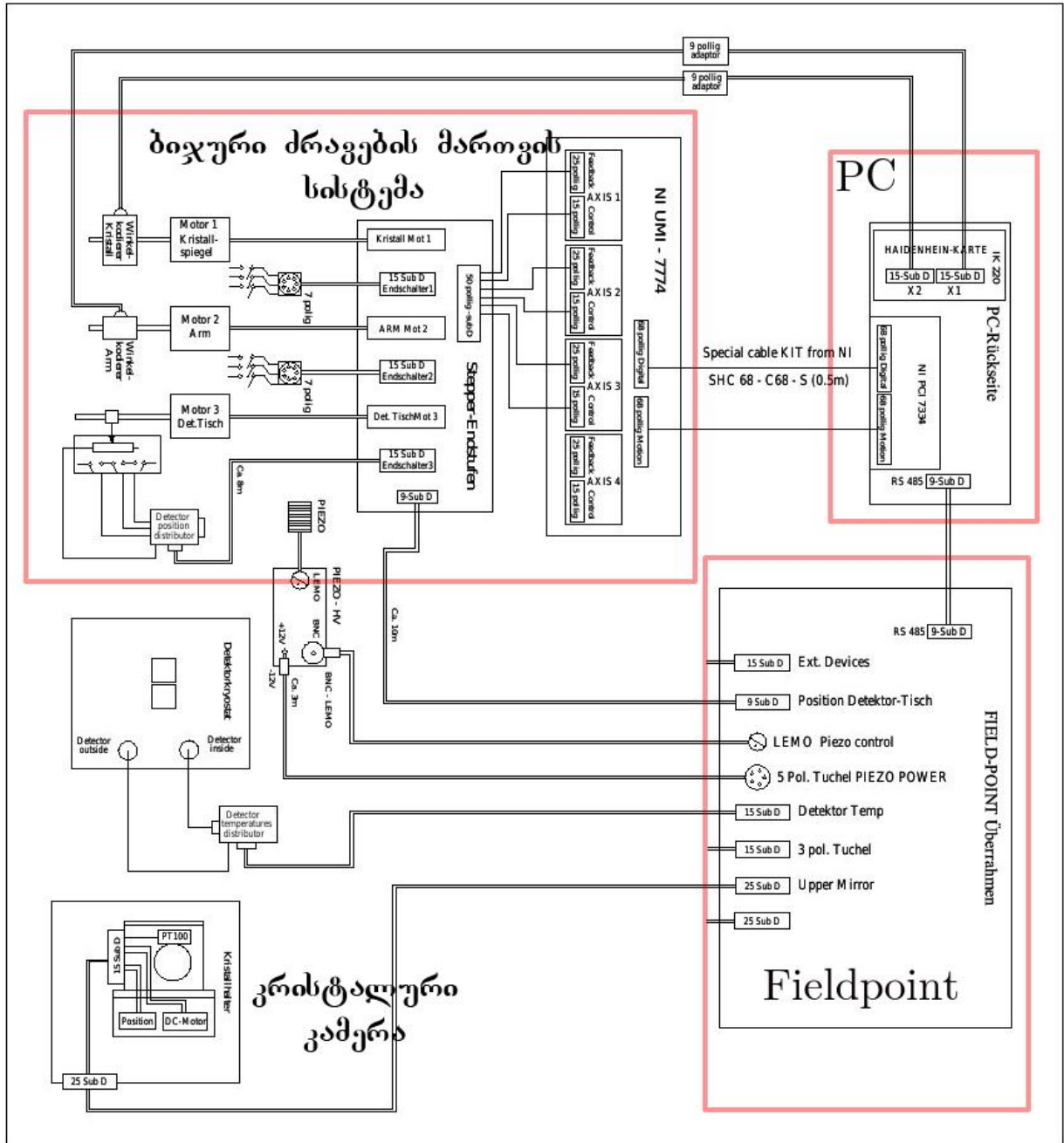
ნახ. 50. სპექტრომეტრის რეგულირებადი პარამეტრები

სპექტრომეტრის რეგულირებადი პარამეტრებია: θ_B - კრისტალის კუთხე, θ_A - სპექტრომეტრის მკლავის კუთხე, საფოკუსო მანძილი (პირობითად Y) კრისტალს და დეტექტორს შორის.

ნახ. 49-ზე მოცემული სქემა შედგება სამი ძირითადი კომპონენტისაგან: 1. პერსონალური კომპიუტერის სისტემური ბლოკი რომელზეც დაყენებულია Labview- SCADA სისტემა, 2. ბიჯური ძრავების ბლოკი, რომელიც უზრუნველყოფს სპექტრომეტრის კრისტალის, მკლავის კუთხის და საფოკუსო მანძილის რეგულირებას, 3. FieldPoint აპარატურული ბლოკი მონიტორინგის ოპერაციების (გაზომვითი ოპერაციების) შესასრულებლად და მიღებული შედეგების პერსონალური კომპიუტერის ეკრანზე ასახვისათვის. კრისტალური სპექტრომეტრის რენტგენული მილაკიდან საკვლევ ობიექტამდე (მანგანუმის შენაერთები) და საკვლევი ობიექტიდან კრისტალის ზედაპირამდე მანძილი ფიქსირებულია და რეგულირებას არ საჭიროებს ექსპერიმენტის მსვლელობისას. გამომდინარე აქედან ამ პარამეტრების ავტომატური კონტროლის საჭიროება არ არსებობს. თუ აუცილებელი გახდა ამ პარამეტრების ცვლილება შესაძლებელია ხელით სკადა სისტემის გარეშე, ვინაიდან ეს პროცესი დაკავშირებულია ერთმანეთთან შეერთებული ვაკუუმური მილების მონტაჟ-დემონტაჟთან.

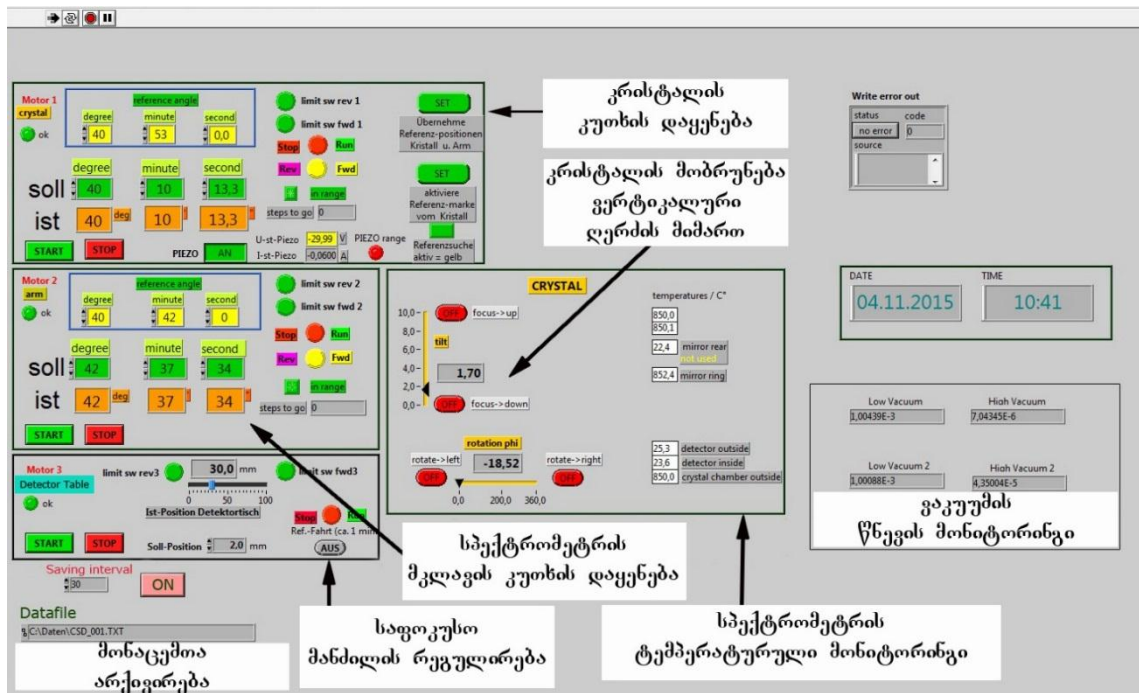
პერსონალური კომპიუტერი, რომელიც ემსახურება სპექტრომეტრის მონიტორინგსა და კონტროლს აღჭურვილია Labview- SCADA-ს ბაზაზე შექმნილი ადამიანი-კომპიუტერი ტიპის გრაფიკული ინტერფეისით. მოცემული ინტერფეისის იდეა მდგომარეობს, მომხმარებლის მხრიდან სისტემის ეფექტურად მართვისათვის საჭირო გრაფიკული გარემოს შექმნაში. ეს გარემო წარმოადგენს მომხმარებლისათვის მარტივად აღსაქმელ პროგრამულ გარსს, რომელიც მარტივი მანიპულაციებით იძლევა სამართავი ობიექტის (ჩვენს შემთხვევაში სპექტრომეტრის) მართვის, მონიტორინგის და სასურველი შედეგის მიღების საშუალებას. მომხმარებელს სჭირდება მინიმალური ძალისხმევის დახარჯვა სასურველი შედეგის მისაღებად, ხოლო სისტემას მინიმალურ დონეზე დაჰყავს

მომხმარებლისათვის უსარგებლო ინფორმაციის მიწოდება. Labview-SCADA-ს ბაზაზე დაპროექტებული კრისტალურ სპექტრომეტრთან სამუშაო



ნახ. 51. კრისტალური სპექტრომეტრის მართვისა და მონიტორინგისათვის საჭირო აპარატურული უზრუნველყოფის კავშირის სქემა

პროგრამული ინტერფეისი ნაჩვენებია ნახ. 52-ზე. მოცემული სისტემა ითვალისწინებს კრისტალის ორი ტიპის ბრუნვის ოპერაციას: ა) ბრუნვა ვერტიკალური და ბ) ჰორიზონტალური ღერძის გარშემო.



ნახ. 52. იულიხის კრისტალური სპექტრომეტრის სამართავი პროგრამული ინტერფეისი

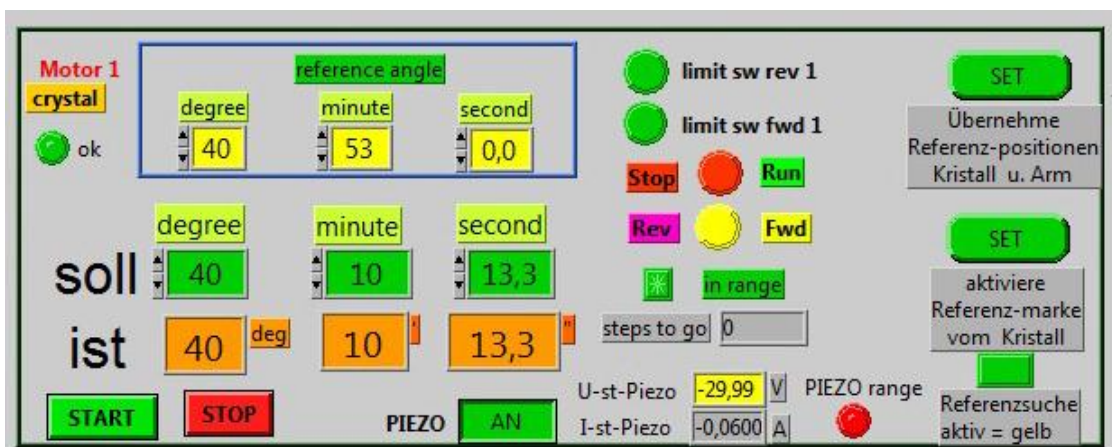
კრისტალის კუთხის ცვლილება გულისხმობს ვერტიკალური ღერძის გარშემო კრისტალის მობრუნებას. როგორც ნახ. 52-დან ჩანს, კრისტალის და სპექტრომეტრის მკლავის მობრუნებას პროგრამის სხვადასხვა სეგმენტი შეესაბამება. სულ შეიძლება გამოიყოს ოთხი სეგმენტი: 1. კრისტალის კუთხის ვერტიკალური ღერძის მიმართ ცვლილებისათვის, რაც ცვლის კრისტალის კუთხეს დეტექტორთან მიმართებაში, 2. კრისტალის ჰორიზონტალური ღერძისადმი მოსაბრუნებლად, რაც არეგულირებს კრისტალიდან დეტექტორისკენ მიმართული რენტგენული სხივების ინტენსივობას, 3. სპექტრომეტრის მკლავის კუთხის რეგულირებისათვის, რაც კრისტალს და დეტექტორს ერთიანად გადაადგილებს მათ შორის არსებული კუთხის ცვლილების გარეშე და 4. საფოკუსო მანძილის

რეგულირებისათვის. ასევე პროგრამულად ხორციელდება ვაკუუმის დონეების კონტროლი და კრისტალისა და დეტექტორის ტემპერატურების მონიტორინგი.

2.1.9.2 სპექტრომეტრის მართვა

2.1.9.2.1 კრისტალის კუთხის დაყენება

როგორც უკვე აღინიშნა კრისტალის კუთხის ცვლილება გულისხმობს კრისტალის მობრუნებას საკუთარი ვერტიკალური ღერძის გარშემო, რაც თავის მხრივ ცვლის კრისტალის ორიენტაციას დეტექტორთან მიმართებაში. კრისტალის ყოველ კუთხეს შეესაბამება კრისტალის ზედაპირიდან არეკვლილი რენტგენული სხივების პოზიციონირება დეტექტორის ზედაპირის სხვადასხვა უბანზე. Labview- SCADA სისტემის პროგრამული ინტერფეისიდან ეს ოპერაცია საჭიროებს მხოლოდ სასურველი კუთხის მითითებას შესაბამის ველში (იხილეთ ნახ. 53). სასურველი კუთხე მითითება „Soll“-ით აღნიშნულ კომპონენტებში, სადაც კუთხის დაყენება ხდება „გრადუსი-მინუტი-სეკუნდი“ ფორმატით. „Ist“ ველში აისახება კრისტალის მიმდინარე კუთხე (მიმდინარე პოზიცია). START ღილაკზე დაჭერით ხდება კუთხის დაყენება სასურველ პოზიციაზე.



ნახ. 53. კრისტალის კუთხის დაყენების სეგმენტი სპექტრომეტრის სამართავი პროგრამული ინტერფეისიდან

რის შედეგადაც „Ist“ ველი მიიღებს „Soll“-ის მნიშვნელობებს.

ფიზიკურად კრისტალის მობრუნება ხორციელდება ბიჯური ძრავების საშუალებით. ეს ძრავი წარმოადგენს მუდმივ დენზე მომუშავე ელექტრულ ძრავს, რომლის ერთი სრული ბრუნი დაყოფილია მცირე ზომის ბიჯებად. ბიჯური ძრავის დასატრიალებლად საჭიროა მის გამომყვანებზე მივაწოდოთ სპეციფიკური იმპულსები. ბიჯური ძრავი ცნობილია მისი თვისებით, შემავალი სიგნალის იმპულსები (მართკუთხა ციფრული იმპულსები) გარდაქმნას საკუთარი ლილვის მაღალი სიზუსტით პოზიციონირებაში. ყოველი იმპულსის მიწოდება იწვევს ლილვის ბრუნვას განსაზღვრული კუთხით. ბიჯური ძრავები აღჭურვილნი არიან კბილანური ფორმის მუდმივი მაგნიტებით (როტორი), რომლებიც განლაგებულნი არიან მეტალის გულარის მქონე ელექტრომაგნიტების შიგნით (სტატორი). ელექტრომაგნიტების გააქტიურება ხდება მიკროკონტროლერის და შესაბამისი ელექტრული სქემის საშუალებით. ელექტრომაგნიტი გააქტიურებისას მაგნიტურად ურთიერთქმედებს (მიიზიდავს) მაგნიტურ კბილანას და წანაცვლებს მას მეორე ელექტრომაგნიტის მიმართ. როცა მეორე ელექტრომაგნიტი გააქტიურდება, ხოლო პირველი გამოირთვება კბილანა წანაცვლდება უკვე მესამე ელექტრომაგნიტის მიმართ და ასე შემდეგ, მეორდება ეს პროცესი. თითოეული ეს წანაცვლება შეესაბამება ძრავის ბიჯს, ხოლო ბიჯების განსაზღვრული რაოდენობა - ძრავის სრულ ბრუნვას. ამ პრინციპით ბიჯური ძრავის დატრიალება / მობრუნება შესაძლებელია მაღალი სიზუსტით.

კრისტალის პოზიციის განსაზღვრა ხდება კუთხური შიფრატორის საშუალებით, რომელიც მუშაობს სპეციალური წრიული ფორმის დისკთან, რომელიც მოთავსებულია კრისტალის ქვევით და დაყოფილია 36000 ვიწრო სექტორად. კრისტალის მობრუნება ხდება ამ დისკთან ერთად, ხოლო მოცემულ დისკს თავის მხრივ აბრუნებს ბიჯური ძრავი. 36000 სექტორით დისკის მობრუნება გულისხმობს ერთ სრულ ბრუნს (360°), შესაბამისად იმის განსაზღვრა, თუ რამდენი სექტორით მობრუნდა დისკი, გვაწვდის

ინფორმაციას თუ რა კუთხით მობრუნდა კრისტალი. როგორც ნახ. 51-დან ჩანს კუთხური შიფრატორი დაკავშირებულია ინდუსტრიულ მთვლელ პლატასთან (Heidenhein IK-220 [43]), რომელიც ჩაყენებულია პერსონალური კომპიუტერის სისტემურ ბლოკში. სისტემაში გამოყენებულია ორი IK-220 პლატა, ერთი კრისტალისთვის, მეორე კი სპექტრომეტრის მკლავის კუთხის გასაზომად. IK-220-ის საინტერპოლაციო ბლოკი შესასვლელზე მიწოდებული სინუსოიდური სიგნალის ერთ პერიოდს, რომელიც შეესაბამება კრისტალის დისკის ერთ სექტორს, გარდაქმნის 200 ანათვალში, რაც იმას ნიშნავს რომ შემავალი სიგნალის გაზომვა ხდება პერიოდის 1/200 სიზუსტით. საინტერპოლაციო და მთვლელი ბლოკების გარდა IK-220 აღჭურვილია შიდა სათადარიგო მთვლელით, რომელიც იძლევა ერთდროულად ორი ანათვალის დამახსოვრების საშუალებას, რაც გამოიყენება უსაფრთხოების თვალსაზრისით, იმ შემთხვევაში თუ რომელიმე მთვლელი გამოვა მწყობრიდან. ანათვლების შენახვა ხდება 16 ბიტის რეგისტრებში და Labview- SCADA სისტემა მის ამოკითხვას ანდომებს 20 მიკროწამს.

კუთხური შიფრატორიდან IK-220 მთვლელი იღებს ორ სინუსოიდურ სიგნალს, რომლებიც წამრულია ერთმანეთის მიმართ 90° იანი კუთხით. იმის მიხედვით, თუ რომელი სიგნალი მოდის თავდაპირველად, განისაზღვრება კრისტალის ბრუნვის მიმართულება. მთვლელის ელექტრონიკა თითოეული სიგნალის პერიოდს გარდაქმნის 50 TTL იმპულსის (ტრანზისტორ-ტრანზისტორული ლოგიკა) ტიპის სიგნალებად, რომლებიც აღირიცხებიან მთვლელის ელექტრული სქემით და კოდირდებიან სიგნალის პერიოდის ოთხ კიდეზე. გამოყენებული Heidenhein IK-220 მთვლელით აღრიცხული კრისტალის სრული 360° იანი მობრუნება შეესაბამება 36000×200 ანათვალს, რომლის მიხედვითაც ერთი ანათვალი უტოლდება კრისტალის $0.018''$ (სეკუნდი) მოტრიალებას. განსაზღვრული რაოდენობის ანათვლების კუთხურ მნიშვნელობაში გადასაყვანად სამართლიანია შემდეგი ფორმულა:

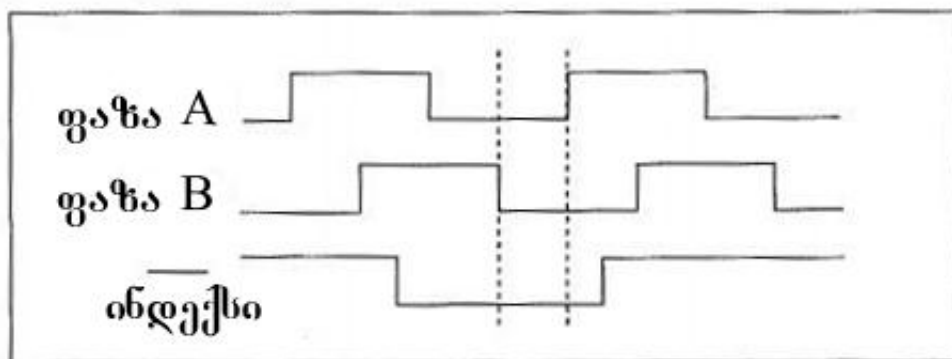
$$კუთხე = \frac{ანათვლები * 360^{\circ}}{კოდირება * ინტერპოლაცია * სექტორები}$$

ჩვენს შემთხვევაში გვაქვს შემავალი სიგნალის ოთხი კიდიტ კოდირება (კოდირება =4), 50 TTL ინტერპოლაცია, ხოლო სექტორების რაოდენობა 36000. შემავალი სინუსოიდური სიგნალის ყოველი პერიოდი შეესაბამება ერთ სექტორს, ანუ სიგნალის პერიოდის რაოდენობის დათვლა იძლევა ინფორმაციას თუ რამდენი სექტორით მოტრიალდა კრისტალის დისკი ანუ საბოლოო ჯამში რა კუთხით მოტრიალდა კრისტალი.

როგორც ნახ. 51-დან ჩანს ბიჯური ძრავების მართვა ხდება NI-PCI-7334 მოდულით [44]. მოცემული აპარატურული მოდული არის კომპანია National Instruments -ის პროდუქტი, რომელიც გათვლილია Labview SCADA სისტემასთან სამუშაოდ და ჩვენს შემთხვევაში ჩაყენებულია პერსონალური კომპიუტერის სისტემურ ბლოკში. მოცემული მოდული გამოიყენება მხოლოდ ბიჯურ ძრავებთან სამუშაოდ და კავშირი პერსონალურ კომპიუტერთან ხპრციელდება PCI სალტის საშუალებით. ამ მოდულით შესაძლებელია ოთხამდე ბიჯური ძრავის მართვა, რომელთაგან ჩვენს შემთხვევაში ვიყენებთ სამს: კრისტალის კუთხის, სპექტრომეტრის მკლავის კუთხის და კრისტალსა და დეტექტორს შორის მანძილის (ფოკუსური მანძილი) დასარეგულირებლად. ნახ. 53-ზე ნაჩვენებ ველში კრისტალის სასურველი პოზიციის შეყვანის შემდეგ ხდება მიმდინარე და სასურველ პოზიციებს შორის განსხვავების დაანგარიშება ანათვლების დონეზე და ეს მნიშვნელობა მიეწოდება NI-PCI-7334 -ს, რომელიც იღებს როგორც ანათვლების რაოდენობას, ასევე კრისტალის მოტრიალების მიმართულებაზე ინფორმაციას (მიწოდებული ანათვლებიდან გამომდინარე საათის ისრის მოძრაობის თუ საწინააღმდეგო მიმართულებით) და მას იმპულსების სახით 68 ბიტისანი Motion/მოქმედება-ტიპის გასართით/კონექტორით გადასცემს ბიჯურ ძრავს, რომელიც უშუალოდ კრისტალის მობრუნების ოპერაციაზეა პასუხისმგებელი. თითოეული

მიწოდებული იმპულსი შეესაბამება ერთ ბიჯს, ანუ ამ ეტაპზე ბიჯურმა ძრავამ უკვე იცის თუ რამდენი ბიჯი უნდა შეასრულოს რომ საჭირო სექტორების რაოდენობით, სასურველი კუთხით და მიმართულებით მოატრიალოს კრისტალი. ერთ-ერთი მნიშვნელოვანი ფუნქცია რაც გამოიყენება ჩვენს მიერ სპექტრომეტრის ძრავების მართვისას, არის ტრაექტორიის გენერირების ფუნქცია, რომელიც არეგულირებს ბიჯური ძრავების აჩქარების კოეფიციენტს, რაც მნიშვნელოვანი პარამეტრია ძრავის მიერ კრისტალისა თუ სპექტრომეტრის მკლავის მობრუნებისას სასურველ პოზიციაზე დასაფიქსირებლად.

NI-PCI-7334 კონტროლერი გამოსასვლელი პარამეტრების სახით იყენებს ბიჯების რაოდენობას და მიმართულების სიგნალს, რასაც აწვდის ბიჯურ ძრავებს. ბიჯების რაოდენობა კოდირებულია ციფრული იმპულსებით. ერთდროულად ხდება ორი სიგნალის (A და B) გენერირება, რომლებიც წადრულია ერთმანეთის მიმართ 90° -იანი კუთხით. იმისდა მიხედვით თუ რომელი სიგნალია წამყვანი, ხდება მოძრაობის მიმართულების განსაზღვრა (იხილეთ ნახ. 54). A და B სიგნალების გარდა NI-PCI-7334



ნახ. 54. NI-PCI-7334 კონტროლერის გამოსასვლელი სიგნალები ბიჯურ ძრავებთან სამუშაოდ

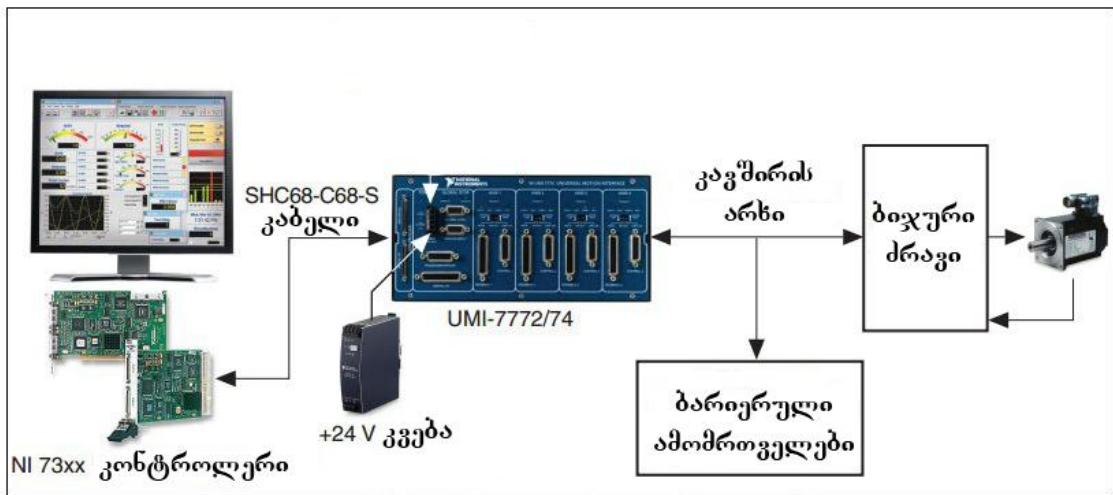
ითვალისწინებს index (ინდექსი) ტიპის სიგნალთან მუშაობას. ეს სიგნალი გამოიყენება კრისტალის საწყის პოზიციაზე დასაყენებლად. თუ რომელი კუთხე შეესაბამება კრისტალის საწყის პოზიციას წინასწარ განისაზღვრება ჩასატარებელი ექსპერიმენტის მიზნებიდან გამომდინარე. შესაბამისად, კრისტალის მხარდამჭერ დისკზე კონკრეტული სექტორი შეესაბამება მოცემულ, საწყის პოზიციას. Index სიგნალი იმახსოვრებს NI-PCI-7334 კონტროლერში შენახულ ამ სექტორს და გააქტიურებისას ავტომატურად აყენებს კრისტალს მის შესაბამის პოზიციაზე ანუ კუთხეზე.

საწყისი პოზიციების წინასწარი განსაზღვრა ხდება როგორც კრისტალის ასევე სპექტრომეტრის მკლავისათვის. ნახ. 53-ზე საწყისი პოზიცია აღნიშნულია Reference angle - ით. „SET“ ღილაკით Labview სისტემა NI-PCI-7334 კონტროლერს გადასცემს მოცემულ მნიშვნელობას, ხოლო „START“-ზე დაჭერით კრისტალი თუ სპექტრომეტრის მკლავი გადაადგილდება და დაფიქსირდება მოცემულ საწყის პოზიციაზე.

NI-PCI-7334 კონტროლერი გარდა სიგნალების გენერირებისა და გადაცემისა, ასევე იღებს სიგნალებს. ის მუშაობს ე.წ. „ბარიერულ (ზღვრულ) ამომრთველებთან“ (ინგლისურად Limit Swirches [45]), რომლებიც აკონტროლებენ ბიჯური ძრავების სამოქმედო არეს. ამ მოწყობილობების გამოყენება აუცილებელია, რადგან თუ ბიჯური ძრავები კრისტალს, სპექტრომეტრის მკლავს ან დეტექტორს გადაადგილებენ წინასწარ განსაზღვრული საზღვრების მიღმა, უნდა არსებობდეს მექანიზმი რაც მომენტალურად შეაჩერებს მათ.

როგორც ნახ. 51-დან ჩანს NI-PCI-7334 კონტროლერი დაკავშირებულია NI-UMI-7774 აპარატურულ მოდულთან [46]. ეს მოწყობილობა გამოიყენება NI-PCI-73** სერიის აპარატურასთან სამუშაოდ ოთხამდე ბიჯური ძრავის ერთდროულად თუ დამოუკიდებლად სამართავად. NI-UMI-7774 თითოეული ძრავის სამართავად შეიცავს ორ კომპონენტს, მათი მართვის და მონიტორინგისათვის, რაც თავის მხრივ რეალიზებულია 25 და 15 კონტაქტიანი გასართების საშუალებით. მართვის

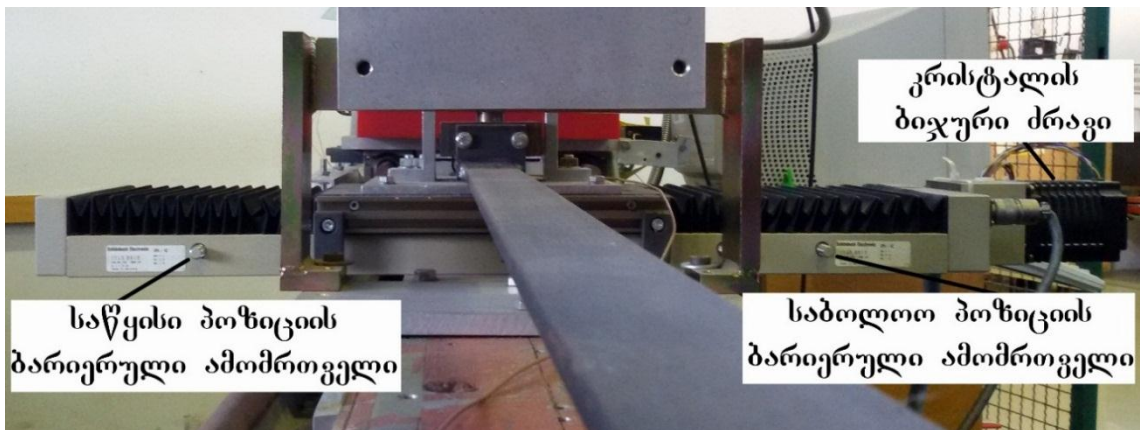
კომპონენტი გულისხმობს ბიჯურ ძრავზე სამართავი სიგნალების მიწოდებას, რომლებიც შეიცავენ ბიჯების რაოდენობას და მოძრაობის მიმართულებას, რაც გამომუშავდება NI-PCI-7334-დან. მონიტორინგის კომპონენტი გულისხმობს ბარიერული ამომრთველებიდან ინფორმაციის მიღებას და მათ გადაცემას NI-PCI-7334-ზე. როგორც ვხედავთ NI-UMI-7774 წარმოადგენს ერთგვარ გამანაწილებელს (ნახ. 55) რომელიც მართვის და მონიტორინგის სიგნალებს ანაწილებს NI-PCI-7334-ს და სამართავ ობიექტს შორის (ამ შემთხვევაში სპექტრომეტრის ბიჯური ძრავები).



ნახ. 55. NI-UMI-7774 და NI-PCI-7334 დამაკავშირებელი სქემა

NI-UMI-7774 უშუალოდ დაკავშირებულია სპექტრომეტრის ღერძებზე დამონტაჟებულ ბარიერულ ამომრთველებთან. ჩვენი ექსპერიმენტული სამუშაოს ფარგლებში კონტროლდება სპექტრომეტრის სამი ღერძი: 1. კრისტალის, 2. სპექტრომეტრის მკლავის და 3. დეტექტორის. ბარიერული ამომრთველები დაყენებულია ამ ღერძების საწყის და საბოლოო წერტილებში და შესაბამისად ბიჯურ ძრავებს არ აძლევს საშუალებას გასცდეს წინასწარ განსაზღვრულ საზღვრებს (ნახ. 56). ბარიერულ ამომრთველებზე მიწოდებული ძაბვა უნდა მერყეობდეს 3.5 და 30 ვოლტს შორის (ჩვენს შემთხვევაში გამოიყენება 12 ვოლტი), იმისათვის რომ ამ

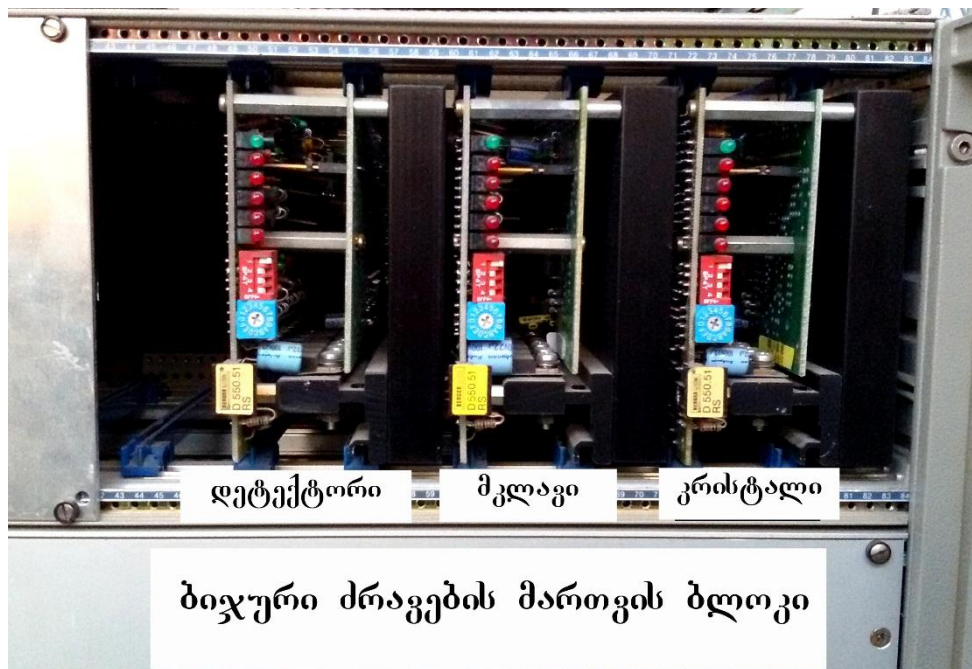
მოწყობილობების შესასვლელელებში უზრუნველყოფილი იყოს შესაბამისი სამუშაო დენის ძალა. ბარიერული ამომრთველები აღჭურვილნი არიან ოპტიკურად იზოლირებული შესასვლელელებით. მინიმუმ 7.2 მილიამპერი არის საჭირო ოპტიკური იზოლატორის ასამოქმედებლად, რაც თავის მხრივ ამომრთველს გადაიყვანს ჩართულ მდგომარეობაში. თუ მოწყობილობაზე მიწოდებული ძაბვა +2 ვოლტზე ნაკლებია, მაშინ ის გადადის გამორთულ მდგომარეობაში.



ნახ. 56. სპექტრომეტრის კრისტალის ხაზოვანი მაგიდა აღჭურვილი საწყისი (Forward) და საბოლოო (Reverse) პოზიციის ბარიერული ამომრთველებით, რომლებიც აკონტროლებენ კრისტალის მოძრაობის მარცხენა და მარჯვენა საზღვარს შესაბამისად

ბარიერული ამომრთველების სწორი ფუნქციონირებისათვის საწყისი პოზიციის ამომრთველი ყენდება სპექტრომეტრის სამართავი ღერძის იმ კიდეზე, რომელიც შეესაბამება ბიჯური ძრავის დადებით მიმართულებას, ხოლო საბოლოო პოზიციის ამომრთველი იმ კიდეზე, რომელიც შეესაბამება ბიჯური ძრავის უარყოფით მიმართულებას. ბარიერული ამომრთველების სამუშაო ძაბვების დაყენება ხდება Labview სისტემიდან NI-PCI-7334 მოდულის პარამეტრების დაყენების რეჟიმში, რასაც ემსახურება სპეციალური პროგრამა, რომელიც Labview-ს მწარმოებლებმა შეიმუშავეს მასთან თავსებადი ყოველი მოწყობილობისათვის. NI-UMI-7774 ახორციელებს 16 ციფრული შემავალი/გამომავალი სიგნალის განაწილებას

სამართავი ობიექტებიდან NI-PCI-7334 კონტროლერზე და პირიქით. ეს სიგნალები წინასწარ კოდირებულია NI-PCI-7334-ის მიერ, ვინაიდან ის უზრუნველყოფს ობიექტის მართვას და შესაბამისად ის განსაზღვრავს მართვისათვის აუცილებელი ფუნქციების შესრულებას. კავშირი ამ ორ აპარატურულ მოდულს შორის რეალიზებულია სპეციალური SHC68-C68S კაბელის საშუალებით, რომელიც NI-PCI-7334-ის 68 კონტაქტიან გასართს აკავშირებს NI-UMI-7774-ის 68 კონტაქტიან გასართთან. როგორც უკვე აღვნიშნეთ NI-UMI-7774 მოწყობილობის დანიშნულებაა მართვისა და მონიტორინგის სიგნალების განაწილება/მარშრუტიზება სამართავ ობიექტებსა და NI-PCI-7334 მმართველ კონტროლერს შორის [46]. სამართავი ობიექტი ამ შემთხვევაში არის ბიჯური ძრავები, რომელთა შესაბამისი ბიჯებით გადაადგილება იწვევს რეალური სამიზნეების (კრისტალი, სპექტრომეტრის მკლავი, დეტექტორი) ზუსტ და სასურველ პოზიციაზე დაყენებას. როგორც ნახ. 51-დან ჩანს, NI-UMI-7774-სა და ბიჯურ ძრავებს შორის შუალედური კომპონენტია გამოყენებული (Stepper-Endstufen / ბიჯური ძრავების მართვის ბლოკი). Stepper-Endstufen წარმოადგენს აპარატურულ კომპლექსს (ნახ. 57), რომელიც უშუალოდ მუშაობს ბიჯურ ძრავებთან და ბარიერულ ამომრთველებთან. ის შედგება ელექტრონული პლატებისაგან, რომლებიც იღებენ ბიჯური ძრავების სამართავ სიგნალებს (ბიჯების რაოდენობა და მიმართულება) NI-PCI-7334 დან, რომლებიც მარშრუტიზებული/განაწინებულია NI-UMI-7774-ით და უზრუნველყოფენ მათ გარდაქმნას იმ ფორმატში, რომელიც აღიქმება ბიჯური ძრავების და ბარიერული ამომრთველების მიერ. მონიტორინგის ინფორმაცია, რომელიც ძირითადად მოდის ბარიერული ამომრთველებიდან Stepper-Endstufen-ის საშუალებით გადაეცემა NI-UMI-7774-ს, რომელიც სპეციალური KIT კაბელით და 68 კონტაქტიანი გასართით გადაამისამართებს მას NI-PCI-7334-ის 16-თანრიგა რეგისტრებში, საიდანაც აისახება Labview სისტემის ეკრანზე (ნახ. 52).



ნახ. 57. Stepper-Endstufen აპარატურული კომპლექსი

იმ შემთხვევაში, თუ კრისტალის, სპექტრომეტრის მკლავის და დეტექტორის მიმდინარე პოზიციები მოქცეულია ბარიერული ამომრთველებით განსაზღვრულ სამოქმედო ჩარჩოებში, მაშინ ნახ. 52- და ნახ. 53-ზე მათი შესაბამისი სტატუსის ღილაკი (In Range / მოქცეულია საზღვრებში) იქნება გამწვანებული. იმ შემთხვევაში, თუ ბიჯური ძრავები სამართავ ობიექტს მიაახლოებენ ამომრთველებით განსაზღვრულ საზღვრებს, მაშინ NI-PCI-7334-დან ისინი მიიღებენ ბრძანებას მოძრაობის დაუყოვნებლივი შეწყვეტის შესახებ [44].

2.1.9.2.2 კრისტალის პოზიციონირება მაღალი სიზუსტით

კრისტალის კუთხის კონტროლი მუდმივ რეჟიმში ხორციელდება კერამიკული პიეზო-ელექტრული ელემენტის საშუალებით (ნახ. 58). საქმე ისაა, რომ მხოლოდ ბიჯური ძრავა ხშირ შემთხვევაში ვერ ახერხებს კრისტალის მაღალი სიზუსტით პოზიციონირებას, ცდომილება შეიძლება

იყოს რამოდენიმე მინუტის ან სეკუნდის ტოლი, შესაბამისად მხოლოდ ბიჯური ძრავით ვერ მიიღწევა კრისტალის ზედაპირიდან არეკვლილი რენტგენის სხივების მაღალი სიზუსტით პოზიციონირება დეტექტორის ზედაპირზე. პიეზო ელემენტი ცდილობს მინიმუმამდე დაიყვანოს სხვაობა კრისტალის სასურველ და მიმდინარე პოზიციებს შორის, ცდომილება შეადგენს მხოლოდ 0.2 სეკუნდს. როდესაც დენი მიედინება პიეზო-ელექტრული ელემენტის გავლით,



ნახ. 57. პიეზო ელემენტის დამჭერი და კრისტალის ბიჯური ძრავი

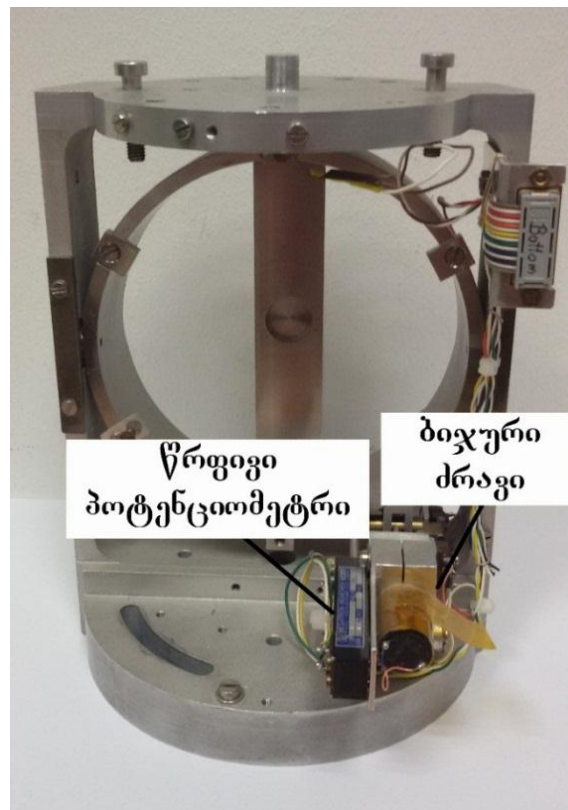
ის ახდენს ელემენტის დეფორმაციას, კერძოდ კი მის დაჭიმვას, რომელიც პროპორციულია მოდებული ელექტრული ველისა [47]. ელექტრული ველის არარსებობის პირობებში კი პიეზო ელემენტი უბრუნდება საწყის ფორმას. ეს ეფექტი ცნობილია არაპირდაპირი პიეზოელექტრული ეფექტის სახელწოდებით.

აღსანიშნავია, რომ კრისტალი მოთავსებულია ვაკუუმურ გარემოში, შესაბამისად ბიჯური ძრავის მეშვეობით კრისტალის კუთხის რეგულირება ხდება გარედან. ამისათვის გამოიყენება სპეციალური მეტალური ღერძი, რომელიც მიმაგრებულია კრისტალის ბიჯურ ძრავზე. ძრავი ამოძრავებს ამ

დერძს, რომელიც თავის მხრივ ამოძრავებს კრისტალის დისკს, რომელიც დაკავშირებულია კრისტალთან. კერამიკული პიეზო ელემენტის დეფორმირება მოდებული ელექტრული ველის გავლენით, გამოიყენება კრისტალის კუთხის ზეზუსტი რეგულირებისათვის. ჩვენს შემთხვევაში პიეზო ელემენტზე მოდებულია 5 ვოლტი ძაბვა, რომელიც გაძლიერება ხდება 100 ვოლტამდე და იწვევს კერამიკული ელემენტის დეფორმირებას (დაჭიმვას) 30 მიკრონით. აღსანიშნავია, რომ ძაბვის ცვლილებით რეგულირდება პიეზო ელემენტის დეფორმირების ხარისხი, შესაბამისად კრისტალის კუთხის სასურველ და არსებულ კუთხეებს შორის სხვაობის მიხედვით, ისე შეირჩევა ელემენტზე მოდებული ძაბვა (პროგრამული მართვით) რომ სხვაობა კუთხეებს შორის იყოს მინიმალური. როგორც ნახ. 53-დან ჩანს, კრისტალური კუთხის დაყენებისას, შესაბამისი სასურველი კუთხის მნიშვნელობა მიეთითება “Soll” ველში, START ღილაკზე დაჭერისას, კრისტალი პოზიციონირდება მითითებულ კუთხურ მნიშვნელობაზე, რაც აისახება “Ist” ველში. ბიჯური ძრავის ცდომილების გამო მიმდინარე და სასურველ პოზიციებს შორის თითქმის ყოველთვის არის რამოდენიმე სეკუნდიანი განსხვავება, რომელიც ეფექტურად კომპენსირდება პიეზო ელემენტის მეშვეობით. “Piezo” ღილაკზე დაჭერისას აქტიურდება პიეზო ელემენტი, რომელზეც მიწოდებული ძაბვა და შესაბამისი დენის ძალა აისახება ეკრანზე (ნახ. 53). „Piezo-in-Range“ (პიეზო მითითებულ საზღვრებში) გრაფიკული კომპონენტის მწვანე შეფერილობა მიუთითებს, რომ პიეზო ელემენტმა მოახერხა კრისტალის მიმდინარე და სასურველი პოზიციების მაქსიმალური დაახლოება, წინააღმდეგ შემთხვევაში აღნიშნული კომპონენტი გაწითლდება, რაც იმაზე მიუთითებს, რომ ოპერაცია წარუმატებლად დასრულდა და საჭიროა მისი განმეორება.

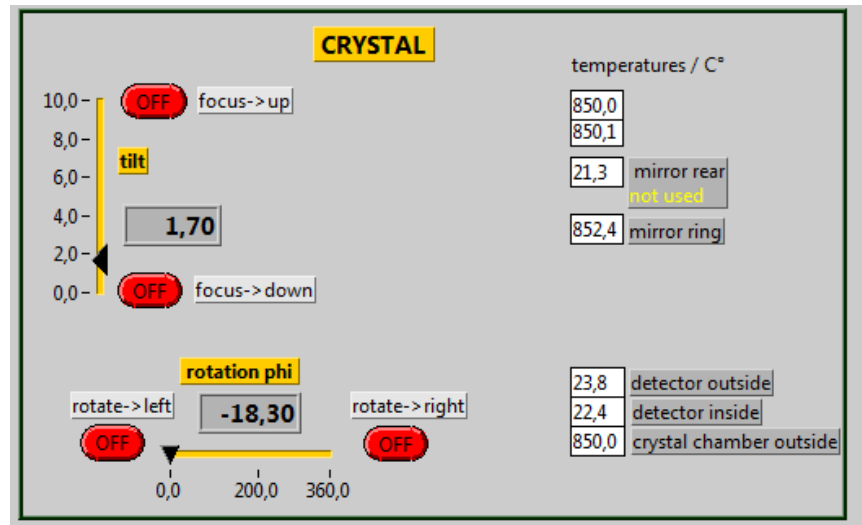
2.1.9.2.3 კრისტალის მობრუნება საკუთარი ჰორიზონტალური ღერძის მიმართ

როგორც აღვნიშნეთ კრისტალზე ხორციელდება ორი ტიპის ოპერაცია: 1. კრისტალის მობრუნება საკუთარი ვერტიკალური და 2. ჰორიზონტალური ღერძის მიმართ. პირველი გამოიყენება კრისტალის ზედაპირიდან არეკვლილი რენტგენის სხივების მაღალი სიზუსტით დეტექტორის ზედაპირზე პოზიციონირებისათვის, ხოლო მეორე კრისტალიდან არეკვლილი სხივების ინტენსივობის რეგულირებისათვის. ამ ოპერაციას ემსახურება კრისტალის კორპუსზე დამონტაჟებული პატარა ბიჯური ძრავი (ნახ. 59), რომელიც დაკავშირებულია კრისტალის წრფივ



ნახ. 58. კრისტალის სამაგრზე დამონტაჟებული ბიჯური ძრავი და წრფივი პოტენციომეტრი

პოტენციომეტრთან, რომლის მოხსნილი წინაღობა იცვლება კრისტალის მოხრის კუთხის მიხედვით. კრისტალის პოზიციის (კუთხის) ცვლილება იწვევს პოტენციომეტრიდან განსხვავებული ძაბვების მოხსნას. სრულ წინაღობაზე მოდებული ძაბვა 10 ვოლტის ტოლია და შესაბამისად ჰორიზონტალური ღერძის მიმართ ბრუნვა შეიძლება გამოვსახოთ სკალაზე 0-დან 10 ვ-მდე (ნახ. 60).

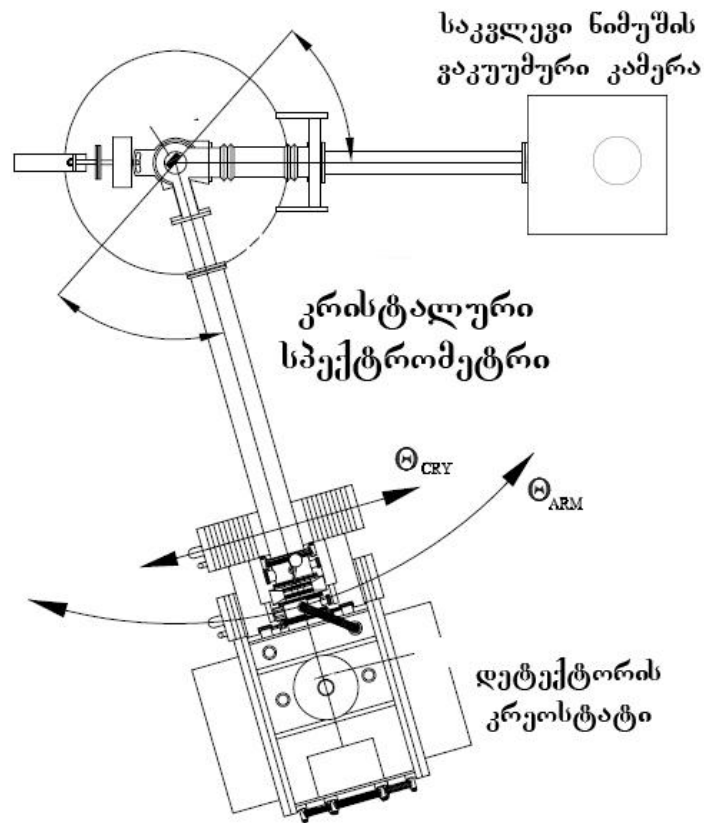


ნახ. 59. Labview სისტემის პანელი, საიდანაც ხდება კრისტალის პოტენციომეტრზე მიწოდებული ძაბვის ცვლილება და შესაბამისად კრისტალის მოხრა

ბიჯური ძრავა კრისტალს აბრუნებს ჰორიზონტალური ღერძის გარშემო მანამ, სანამ არ მოხდება კრისტალიდან არეკვლილი რენტგენის სხივების მაქსიმალური ინტენსივობის მიღება. ეს პროცესი თავის მხრივ კონტროლდება წრფივი პოტენციომეტრიდან აღებული ძაბვის სიგნალის შესაბამისად, რომელიც გამოტანილია ნახ. 60-ზე ნაჩვენები Labview სისტემის პანელში.

2.1.9.2.4 სპექტრომეტრის მკლავის კუთხის დაყენება

სპექტრომეტრის მკლავი, რომელზეც დამონტაჟებულია როგორც კრისტალი, ასევე დეტექტორი იმართება დამოუკიდებლად, კრისტალის დეტექტორის მიმართ ორიენტაციის ცვლილების გარეშე. ეს მიდგომა შემუშავდა სპეციალურად, რათა მომხდარიყო საკვლევი ნიმუშის მთლიანი

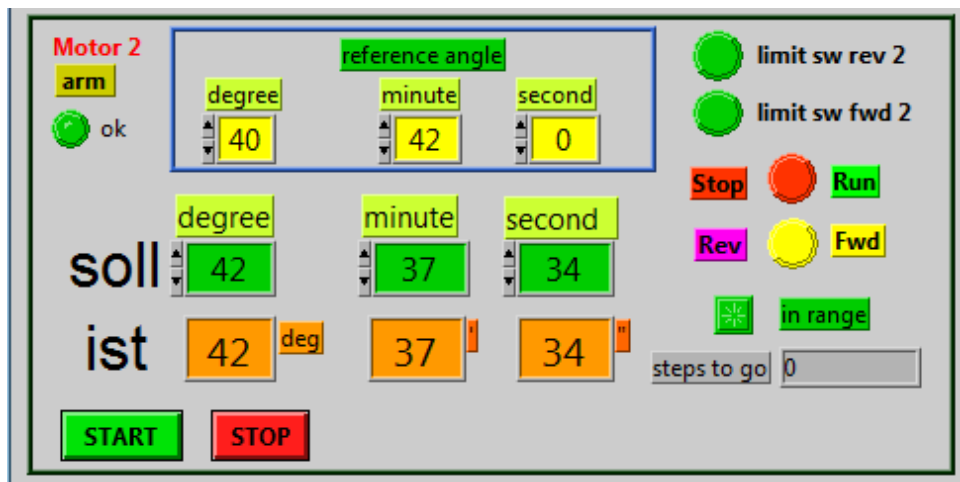


ნახ. 60. კრისტალური სპექტრომეტრის მკლავი

სამუშაო არის (ზედაპირის) სკანირება, იმ უბნის შესარჩევად, საიდანაც წამოსულ რენტგენულ ფლუორესენციურ სხივებს ექნებოდათ მაქსიმალური ინტენსივობა. მკლავის კუთხის (θ_{ARM}) ცვლილება იწვევს კრისტალის მობრუნებას დეტექტორთან ერთად, რაც თავის მხრივ კრისტალის კუთხეს (θ_{CRY}) დეტექტორთან მიმართებაში არ ცვლის. თუ *სპექტრომეტრის მკლავს მოვაბრუნებთ 2θ კუთხით, მაშინ კრისტალის კუთხე უნდა შევცვალოთ θ კუთხით, ოღონდ საპირისპირო მიმართულებით. ეს გამოიწვევს მხოლოს*

მანგანუმის ნიმუშის ერთი უბნიდან მეორეზე გადასვლას, გამოსხივებული რენტგენული რადიაციის ინტენსივობაზე შესამოწმებლად, სპექტრომეტრის სხვა პარამეტრები დარჩება უცვლელი (ნახ. 61). სპექტრომეტრის მკლავის კუთხის ცვლილება ხდება ანალოგიური პრინციპით, როგორც კრისტალის კუთხის დაყენება. Labview სისტემის პანელი ითვალისწინებს ცალკე გრაფიკულ კომპონენტებს ამ მიზნისათვის, რომლებიც ინტეგრირებულია ერთიან პანელზე (ნახ. 52) და გამოყოფილი სახით ნაჩვენებია ნახ. 62-ზე.

თუ ბარიერული ამომრთველების (Limit Switch [45]) გრაფიკული კომპონენტები შეფერილია მწვანე ფერით, ეს მიუთითებს მათ გამართულ მუშაობაზე. “In Range” (მოქცეულია ზღვრებში) კომპონენტის მწვანე შეფერილობა კი მეტყველებს იმაზე, რომ მკლავის კუთხე მოქცეულია ბარიერული ამომრთველების განსაზღვრულ საზღვრებში. ელექტრონიკის თვალსაზრისით სპექტრომეტრის მკლავის კუთხის დასაყენებლად

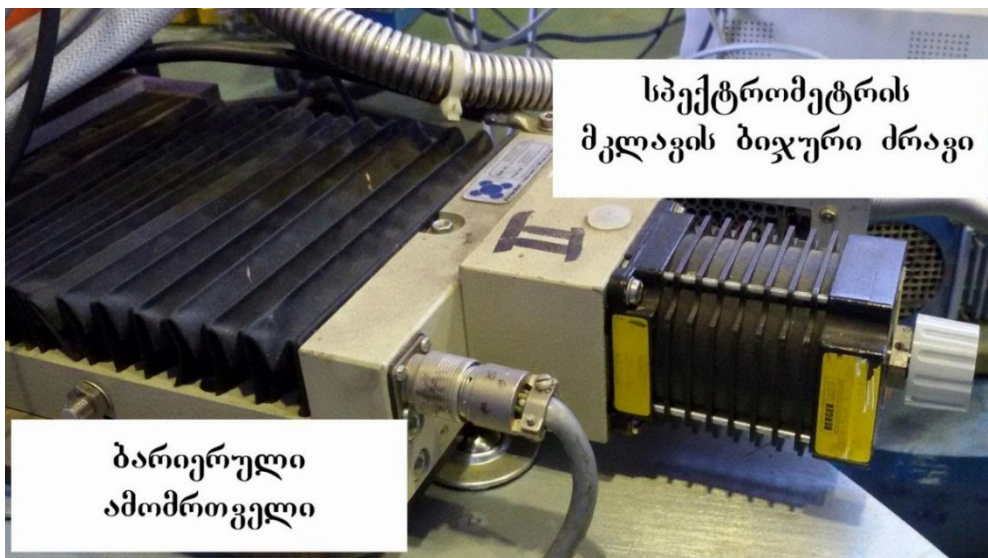


ნახ. 61. სპექტრომეტრის მკლავის კუთხის დაყენების სეგმენტი სპექტრომეტრის სამართავი პროგრამული ინტერფეისიდან

გამოიყენება იგივე მოწყობილობები, რაც კრისტალის შემთხვევაში. NI-PCI-7334 მოდული ბიჯური ძრავების სამართავად და მათთვის ბრძანებების (ბიჯების რაოდენობა და მიმართულება) გასაცემად, NI-UMI-7774-ი, რომელიც ასრულებს NI-PCI-7334-ის ბრძანებების მარშრუტიზება-განაწილების ფუნქციას და Stepper-Endstufen რომელიც უშუალოდ მუშაობს

ბიჯურ ძრავებთან. აღსანიშნავია, რომ სპექტრომეტრის მკლავი აღჭურვილია ცალკე დისკით, რომელსაც აქვს 5000 სექტორი (კრისტალს გააჩნია ცალკე დისკი, რომელიც მოიცავს 36000 სექტორს). სპექტრომეტრის მკლავის ბიჯურ ძრავის 1000 ბიჯი შეესაბამება ერთ სრულ ბრუნს, რაც თავის მხრივ შეესაბამება მკლავის 5 მმ-ით გადაადგილებას. თუ გავითვალისწინებთ იმას, რომ მკლავის დისკიდან ბიჯურ ძრავამდე მანძილი 1300.5 მმ-ია, მივიღებთ რომ, ბიჯური ძრავის ერთი ბიჯი იწვევს მკლავის კუთხის 0.79 სეკუნდით ცვლილებას.

აღსანიშნავია რომ, სპექტრომეტრის მკლავი არ საჭიროებს პიეზო-ელექტრულ ელემენტს, ვინაიდან მისი ბიჯური ძრავის (ნახ. 63) ცდომილება დამაკმაყოფილებელია, ხოლო კრისტალის კუთხის რეგულირება მაღალი სიზუსტით ხდება მკლავისგან დამოუკიდებლად.

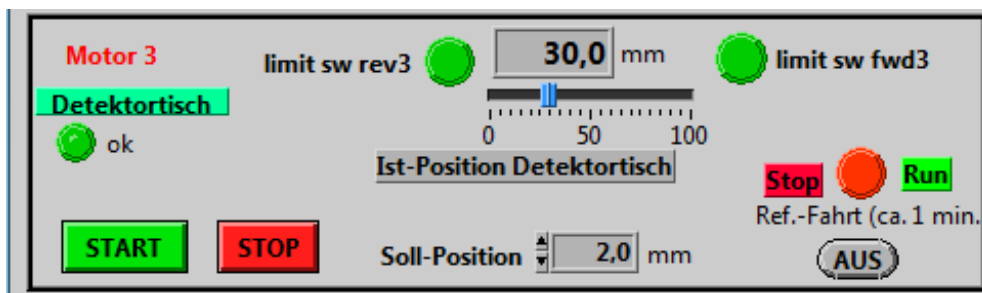


ნახ. 62. სპექტრომეტრის მკლავის ბიჯური ძრავი და ბარიერული ამომრთველი

2.1.9.2.5 კრისტალსა და დეტექტორს შორის მანძილის (ფოკუსური მანძილი) რეგულირება

რენტგენის სხივების მაღალი სიზუსტით გასაზომად დიდი მნიშვნელობა ენიჭება კრისტალსა და დეტექტორს შორის მანძილს. Labview-ს ბაზაზე

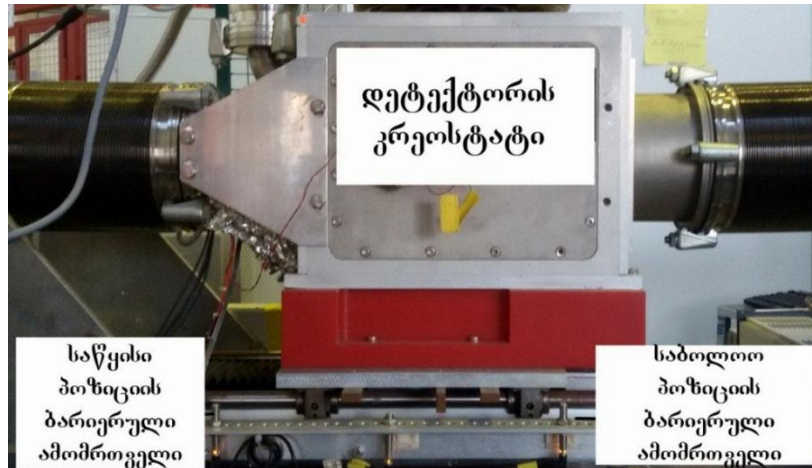
შექმნილი სპექტრომეტრის მართვისა და მონიტორინგის სისტემა საშუალებას იძლევა, ერთ ღილაკზე დაჭერით მოვახდინოთ ამ პარამეტრის რეგულირება. როგორც ნახ. 64-დან ჩანს საფოკუსო მანძილის სასურველი მნიშვნელობის სისტემაში შეტანა ხდება მილიმეტრებში, START ღილაკზე დაჭერისას კი დეტექტორი გადაადგილდება კრისტალის მიმართ მითითებულ მანძილზე. დადებითი მნიშვნელობები მიუთითებს რომ მანძილი უნდა გაიზარდოს, ხოლო უარყოფითი-შემცირდეს. ბარიერული ამომრთველები აკონტროლებენ დეტექტორის გადაადგილების საზღვრებს (ნახ. 65), რაც უზრუნველყოფს იმას, რომ შეცდომით შეტანილი სასურველი ფოკუსური მანძილის შემთხვევაში დეტექტორი ვერ გასცდება ამომრთველებით განსაზღვრულ ნიშნულებს.



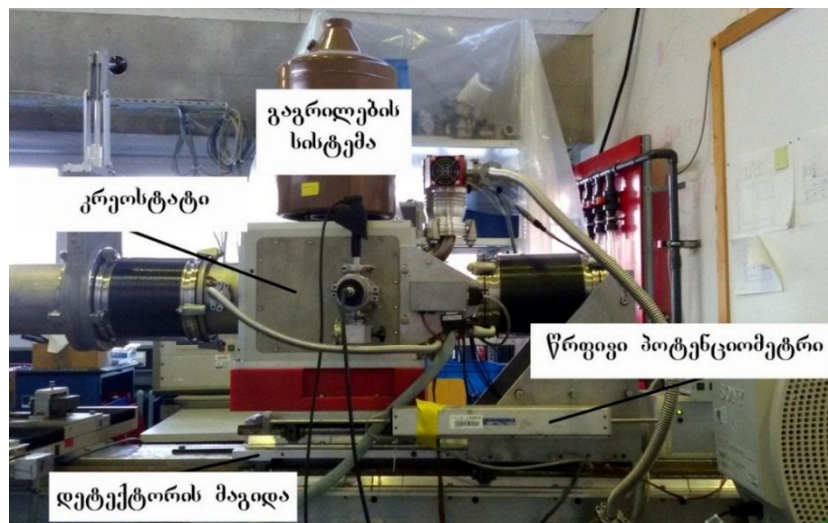
ნახ. 63. ფოკუსური მანძილის დაყენების სეგმენტი სპექტრომეტრის სამართავი პროგრამული ინტერფეისიდან

დეტექტორის ბიჯური ძრავი და ბარიერული ამომრთველები კონტროლდება NI-PCI-7334, NI-UMI-7774 და Stepper-Endstufen-აპარატურული უზრუნველყოფით. დეტექტორის გადაადგილებას თან ახლავს წრფივ პოტენციომეტრში (რომელიც მიერთებულია დეტექტორის გადაადგილების სისტემასთან) მოხსნილი წინაღობის ცვლილება, რაც იწვევს პოტენციომეტრიდან მოხსნილი ძაბვის ცვლილებას. ძაბვის ცვლილება პირდაპირ კავშირშია დეტექტორის მიერ გავლილ მანძილთან, რაც წინასწარ გაზომილი და დაკალიბრებულია. შედეგად ნახ. 64-ზე მილიმეტრებში შეყვანილი ფოკუსური მანძილი გარდაიქმნება ძაბვის იმ მნიშვნელობებში, რაც უნდა მოიხსნას პოტენციომეტრიდან, რომ

დეტექტორი გადაადგილდეს მითითებულ მანძილზე, ხოლო პოტენციომეტრის მოხსნილი წინაღობა შეიცვალოს ამ გავლილი მანძილის შესაბამისად. ბიჯური ძრავები უზრუნველყოფენ დეტექტორის გადაადგილებას სასურველ მანძილზე (ნახ. 65).



ნახ. 64 დეტექტორული კრისტატი ბარიერული ამომრთველებით



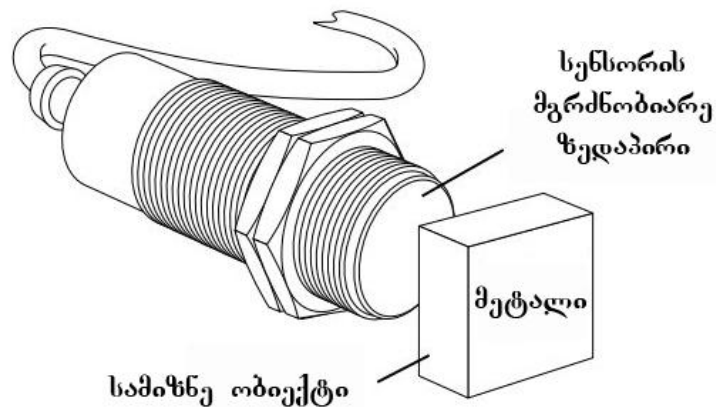
ნახ. 65. კრისტალური სპექტრომეტრის დეტექტორული მაგიდა

2.1.9.2.6 ბარიერული ამომრთველების მუშაობის პრინციპი

როგორც უკვე აღვნიშნეთ სპექტრომეტრი აღჭურვილია ბარიერული ამომრთველებით. ისინი წარმოადგენენ ტევადური ტიპის სიახლოვის

სენსორებს (ნახ. 67), რომლებიც განსაზღვრავენ ბიჯური ძრავების მოქმედების საზღვრებს.

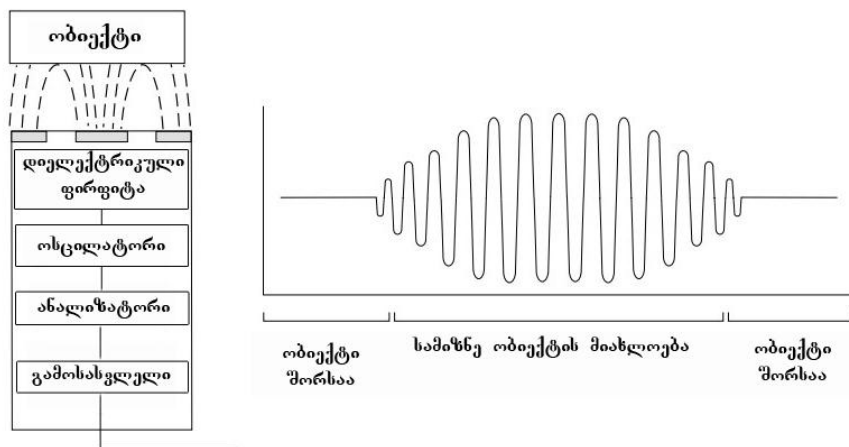
ტევადური სიახლოვის სენსორები ჩვენს მიერ ჩატარებულ ექსპერიმენტში გამოიყენება მეტალური ობიექტების უკონტაქტო დეტექტირებისათვის. როდესაც მეტალის ობიექტი უახლოვდება სენსორს, ხდება სენსორის ზედაპირზე ტევადობის ცვლილება. ასეთი ტიპის სენსორები როგორც წესი რეაგირებენ გარკვეულ მანძილზე (ჩვენს



ნახ. 66. ტევადური სიახლოვის სენსორი / ბარიერული ამომრთველი

შემთხვევაში 2 მმ) და ამ მანძილზე ობიექტის მოახლოებისას სენსორში არსებული ოსცილატორი იცვლის რხევის სიხშირეს და ამპლიტუდას. ამპლიტუდა იდენტიფიცირდება ე.წ. შმიდტის ბარიერული ელექტრული წრედით. სენსორის რეაგირების მანძილის რეგულირება შესაძლებელია მასზე მიმაგრებული სპეციალური ჭანჭიკის საშუალებით. ტევადური სენსორის მგრძნობიარე ზედაპირი ფორმირდება კონდენსატორის ორი კონცენტრირებული მეტალურ ელექტროდით. როდესაც მეტალური ობიექტი მიუახლოვდება სენსორის მგრძნობიარე ზედაპირს, ის აღწევს ელექტროდების ელექტროსტატიკურ ველში და ცვლის ტევადობას ოსცილატორის წრედში, შედეგად იცვლება სიგნალის ამპლიტუდა და მისი დეტექტირება ხდება შმიდტის ბარიერული გადამრთველით. ობიექტის

სენსორის მგრძობიარე ზედაპირიდან დაშორებისას ოსცილატორის რხევის ამპლიტუდა მცირდება და სენსორი უბრუნდება საწყის/პირვანდელ მდომარეობას (ნახ. 68). როდესაც კრისტალის, სპექტრომეტრის მკლავის ან დეტექტორის მეტალური კომპონენტი მიუახლოვდება ბარიერულ ამომრთველს, ხდება +12 ვოლტი დონის სიგნალის გენერირება, რომელიც მიუთითებს NI-PCI-7334-ს დაუყოვნებლივ შეაჩეროს შესაბამისი ბიჯური ძრავის მოქმედება. ამ სიგნალის მიწოდება ხდება სპეციალური KIT კაბელის მეშვეობით რომელიც მიერთებულია NI-PCI-7334-ის 68 კონტაქტიან გასართზე.



ნახ. 67. ბარიერული ამომრთველის მოშობის პროცესი

2.1.9.3 კრისტალური სპექტრომეტრის მონიტორინგი

2.1.9.3.1 ტემპერატურული გაზომვები

კრისტალურ სპექტრომეტრზე ხდება ოთხი ძირითადი ტემპერატურის გაზომვა: კრისტალის კამერის შიგნით და გარეთ, დეტექტორული კრეოსტატის შიგნით და გარეთ. გაზომვები ხორციელდება PT-100 ომური თერმომეტრით (RTD- Resistance Thermometer) [48]. ეს მოწყობილობა წარმოადგენს სენსორს, რომელიც ტემპერატურას ზომავს RTD ელემენტის

წინააღმდეგობის მიხედვით. მოცემული ელემენტი შედგება გამტარისგან, რომელიც დახვეულია ცენტრალური კერამიკის ან მინისგან დამზადებული გულანის ირგვლივ. როგორც წესი RTD ელემენტი მსხვრევადაა, ამიტომ მოთავსებულია სპეციალურ გარსაცმში. ჩვენს ექსპერიმენტში გამოყენებულია სუფთა სპილენძისგან დამზადებული ტემპერატურული სენსორი. ეს ნივთიერება ხასიათდება წინააღმდეგობის წინასწარ განსაზღვრული ცვლილებით ტემპერატურის ცვლილებისას. შესაბამისად, წინააღმდეგობის გაზომვა საშუალებას გვაძლევს მივიღოთ ინფორმაცია ტემპერატურის შესახებ.

PT-100 ომური თერმომეტრისათვის 0°C შეესაბამება 100 ომს. თერმომეტრი ოპერირებს 1-3 მილიამპერი დენის ძალის პირობებში. კალიბრირების შედეგად სენსორის ყოველ კონკრეტულ წინააღმდეგობას შეესაბამება კონკრეტული ტემპერატურა. ჩვენი ექსპერიმენტის გარემო პირობებისათვის დამასახიანებელი ტემპერატურული დიაპაზონისათვის შექმნილია წინააღმდეგობის მნიშვნელობების ცხრილი. ტემპერატურის ცვლილება გულისხმობს წინააღმდეგობის ცვლილებას, რაც თავის მხრივ იწვევს სენსორზე მოდებული ძაბვის ცვლილებას, რადგან დენის ძალა მუდმივია. ძაბვის მნიშვნელობების ამოკითხვა ხდება National Instruments-ის RTD22-ი აპარატურული მოდელით, რომელიც ამოკითხული ძაბვის მნიშვნელობას პროპორციულად გარდაქმნის ტემპერატურულ მნიშვნელობებში.

2.1.9.3.2 ვაკუუმის დონის მონიტორინგი

ვაკუუმის მონიტორინგი ხდება სპექტრომეტრის ორ უბანზე: დეტექტორის კრეოსტატში და სპექტრომეტრის დანარჩენ ნაწილში, რომელიც კრეოსტატისაგან იზოლირებულია თხელი ბერილიუმის ფანჯრით, რომელიც ერთის მხრივ ვაკუუმდგრადაა, ხოლო მეორეს მხრივ ატარებს რენტგენის სხივებს, რაც აუცილებელია მათი დეტექტირებისათვის.

ვაკუუმის დონის გაზომვა ხდება Combivac31 მოწყობილობით [49], რომელიც გაზომვისათვის იყენებს ორ მეთოდს: თერმოვაკუუმურ (ThermoVac) და ცივი კათოდის (PenningVac) მეთოდს. მოწყობილობაში ჩაშენებული RS-232 ინტერფეისი საშუალებას იძლევა მოხდეს ინფორმაციისა და მონაცემების მიმოცვლა კომპიუტერთან. Combivac31 აღჭურვილია სამი გამზომი არხით: ორი თერმოვაკუუმური და ერთი ცივი კათოდის. თერმოვაკუუმური არხები აქტიურდება ძაბვის მიწოდებისთანავე. მათ შეუძლიათ ვაკუუმის დონე გაზომონ 1×10^{-3} -1000 მილიბარ დიაპაზონში, ხოლო ცივი კათოდის პრინციპით მომუშავე არხებს 10^{-9} - 10^{-2} მილიბარის დიაპაზონში.

ვაკუუმის დონის გაზომვის ThermoVac/თერმოვაკუუმური მეთოდი.

თერმოვაკუუმური მეთოდი იყენებს ვაკუუმურ კრეოსტატში არსებული აირის თბოგამტარობას. თბოგამტარობა აირების ერთ-ერთი მნიშვნელოვანი მახასიათებელია, რომელიც დაკავშირებულია ნაწილაკების სიმკვრივესთან. როგორც ცნობილია თერმული ენერგია გადაიცემა მოლეკულების დაჯახების შედეგად. გადაცემის ეფექტურობა დამოკიდებულია ნაწილაკების მიერ შეჯახებებამდე გავლილ მანძილზე. აირის გარკვეული წნევისათვის თბოგამტარობა წნევის პროპორციულია, თუმცა ამ დროს თავს იჩენს ისეთი დამაბრკოლებელი ფაქტორები როგორცაა: თერმული რადიაცია, კრეოსტატის ელექტრული კონტაქტების მიერ სითბოს გატარება. თერმოვაკუუმური მეთოდით ვაკუუმის მზომი ხელსაწყო იყენებს თხელ ცენტრალურ გამტარს, რომელიც როგორც წესი პლატინისგან არის დამზადებული. ეს გამტარი თბება გარკვეულ მუდმივ ტემპერატურაზე, რომელიც გაცილებით მაღალია ვაკუუმურ კრეოსტატში არსებულ აირის ტემპერატურაზე. ცენტრალური გამტარი (სისქე - 5-25 მიკრომეტრი, სიგრძე - 50 - 100 ნანომეტრი) სითბოს გადასცემს გარემომცველ აირს, ვინაიდან აირის მოლეკულები ეჯახებიან მას. თუ აირის წნევა შემცირდება, შემცირდება ასევე მოლეკულების რიცხვი, რომლებიც ეჯახებიან ცენტრალურ გამტარს და შესაბამისად ის გაცილებით ნელა

დაკარგავს სითბოს. სითბოს დაკარგვა, წნევის გაზომვის ირიბი მეთოდია. წნევაზე დამოკიდებული ტემპერატურა განისაზღვრება გამტარის წინააღმდეგობის მიხედვით, ანუ ტემპერატურის ცვლილება იწვევს გამტარის წინააღმდეგობის ცვლილებას. აქტიური პარამეტრი (სიმძლავრე, რომელიც საჭიროა ტემპერატურის სტაბილიზაციისათვის) დამოკიდებულია აირის წნევაზე, ვინაიდან თვით აირის თერმული გამტარობა დამოკიდებულია წნევაზე. ცენტრალური გამტარის გამათბობლის ძაბვა (გასათბობად საჭირო ძაბვა) და ეტალონური ძაბვა შეიძლება გაზომილ იქნას ერთდროულად. განსხვავება არსებულ/აქტუალურ ძაბვის მნიშვნელობასა და ეტალონურ მნიშვნელობას შორის როგორც წესი აიღება ნულის ტოლად აირის იმ წნევისათვის, რომლისთვისაც თბოგამტარობა უმნიშვნელოა. რადგან აირის თბოგამტარობა დამოკიდებულია მოლეკულების გადაადგილების საშუალო სიჩქარეზე და შესაბამისად აირის მოლურ მასაზე, თერმოდინამიკური მზომი ხელსაწყოები წნევის გაზომვისას რეაგირებენ ასევე აირის ტიპზე. კალიბრაცია როგორც წესი ხდება აზოტის ან ატმოსფერული ჰაერისათვის.

ვაკუუმის დონის გაზომვა ცივი კათოდის მეთოდით. მოცემული მეთოდის საშუალებით ვაკუუმის წნევის გასაზომად გამოიყენება აირის განმუხტვა, რომელიც მიიღწევა მაღალი ძაბვის მოდეებით. ცივი კათოდში აირის იონიზაცია ხდება გამზომი გარემოს ელექტრონებთან შეჯახების შედეგად. თუ კათოდსა და ანოდს შორის მოვდებთ მაღალ ძაბვას ყველა დამუხტული ნაწილაკი აჩქარდება შესაბამისი ელექტროდისაკენ. ამ დროს აირის მოლეკულების იონიზება შეიძლება მოხდეს არაელასტიური შეჯახებების შედეგად და წარმოიქმნას მეორადი ელექტრონები. აჩქარებული ნაწილაკები უზრუნველყოფენ აირის განმუხტვას. აირის იონიზაცია უმეტესად ხდება ელექტრონების იონიზაციის მეშვეობით, ამიტომ მნიშვნელოვანია ამ ელექტრონების შენარჩუნება, რათა ამაღლდეს იონიზაციის ალბათობა და აირის განმუხტვა გაგრძელდეს რაც შეიძლება დიდხანს, განსაკუთრებით დაბალ წნევებზე. ეს მიიღწევა დამატებითი გარე მაგნიტური ველით.

ვაკუუმის დონის გაზომვის მოცემული მეთოდის დროს გამოიყენება ორი პარალელური კათოდი, რომელთა შორის მოქცეულია წრიული ფორმის ანოდი. ეს სისტემა გარშემორტყმულია მაგნიტებით. კათოდსა და ანოდს შორის ძაბვის სხვაობა შეადგენს დაახლოებით 2 კილოვოლტს. ელექტრონები გამოსხივდებიან კათოდიდან და აჩქარდებიან ანოდისაკენ, ლორენცის ძალა იკავებს მათ წრიულ ტრაექტორიაზე და ხდება იონიზაცია. დადებითად დამუხტული იონები მიემართებიან კათოდისაკენ, მათი შეჯახების შედეგად წარმოიქმნება განმუხტვა, რომლის შესაბამისი დენის ძალა შეიძლება გაზომილ იქნას. მაგნიტური ველი იონებზე მსუბუქად ზემოქმედებს ელექტრონებთან შედარებით მათი დიდი მასის გამო. წნევასა და განმუხტვის დენის ძალას შორის კორელაცია მოცემულია $p = \text{const} \cdot I^m$ ფორმულით, სადაც m იცვლება 1 და 1.4-ს შორის მზომი ხელსაწყოს განზომილებიდან გამომდინარე. როგორც ვხედავთ განმუხტვის დენის ძალა პროპორციულია წნევისა ფართო ინტერვალში. იონიზაციის ენერგია და იონიზების ალბათობა განსხვავებულია სხვადასხვა ატომებისა და მოლეკულებისათვის. ამიტომ მოცემული მეთოდით გაზომვისას ყურადღება უნდა მიექცეს აირის ტიპს და როგორც წესი ეს მეთოდი გამოიყენება 10^{-2} მილიბარის მიღმა დიაპაზონში ოპერირებისათვის.

Combivac31 მოწყობილობა გაზომილ ვაკუუმის დონეს გამოსახავს ძაბვების მეშვეობით. თერმოვაკუუმური მეთოდისათვის სამართლიანია:

$$U_a = \frac{10}{6} (\log p + 3)$$

ცივი კათოდისათვის:

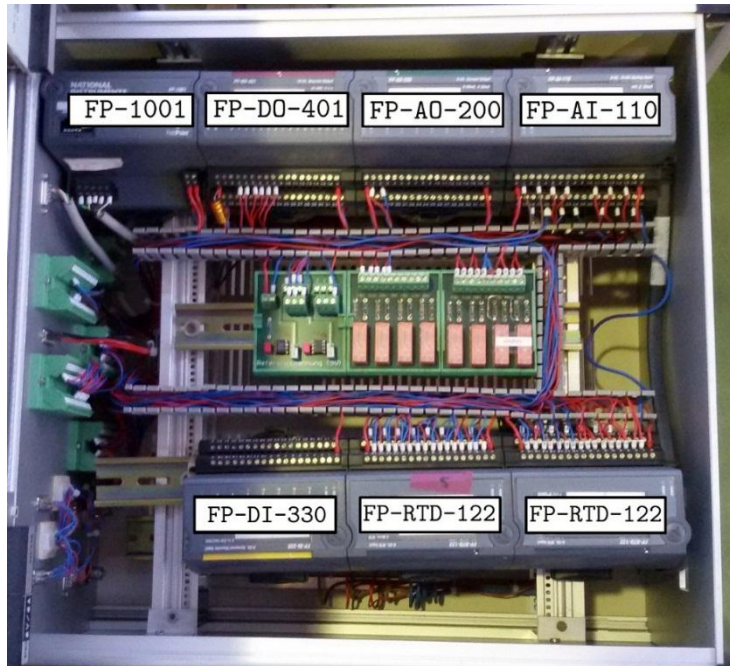
$$U_a = \frac{10}{7} (\log p + 9)$$

მოცემულ ფორმულებში U_a არის გამომავალი ძაბვა, ხოლო P ვაკუუმის წნევა მილიბარებში.

როგორც უკვე აღვნიშნეთ Combivac31 მოწყობილობასა და პერსონალურ კომპიუტერს შორის მონაცემთა გაცვლისათვის გამოიყენება RS-232 ინტერფეისი. მოცემული არხით მონაცემთა გადაცემისას ბრძანებების დაყოვნება შესაძლებელია მოხდეს მაქსიმუმ 2 წამით. RS-232 მონაცემთა გადაცემისათვის იყენებს სამ არხს: გადამცემი TxD, მიმღები RxD და დამიწება. მონაცემთა გადაცემა ხდება 7-ბიტანი ASCII კოდების საშუალებით. პირველი ბიტი არის სტარტ ბიტი, რომელსაც მოყვება მონაცემთა 7 ბიტი, და სტარტ ბიტი ბოლოში.

2.1.9.4 Labview Scada სისტემის FieldPoint აპარატურული ბლოკი კრისტალური სპექტრომეტრის კომპონენტების მართვისა და მონიტორინგისათვის

Labview სისტემა სპექტრომეტრის აპარატურულ უზრუნველყოფას მართავს FieldPoint აპარატურული ბლოკის მეშვეობით (ნახ. 51), რომელიც აერთიანებს სხვადასხვა ფუნქციის მოწყობილობებს National Instruments-მწარმოებლისაგან (ნახ. 69). ერთის მხრივ ამ ბლოკში გაერთიანებული მოწყობილობები ურთიერთობენ შუამავალ მოწყობილობებთან, როგორცაა ბიჯური ძრავები, ბარიერული ამომრთველები, პოტენციომეტრები, ტემპერატურის მზომები (RTD - ელემენტები), რომლებიც პირდაპირ არიან დაკავშირებულნი სპექტრომეტრის იმ კომპონენტებთან, რომელთა მართვას ან მონიტორინგაც არის აუცილებელი. მეორეს მხრივ სისტემის მართვისა და მონიტორინგის შედეგად მიღებული მონაცემები თავს იყრის ამ აპარატურულ ბლოკში, საიდანაც ის მიეწოდება Labview სისტემას და აისახება მის პროგრამულ პანელზე (ნახ. 52). რეალურად, Labview სისტემა კითხულობს მოცემული მოწყობილობების შესაბამის რეგისტრებში ჩაწერილ მნიშვნელობებს და მათ ასახავს ეკრანზე.



ნახ. 68. FieldPoint აპარატურული ბლოკი სპექტრომეტრის კონტროლისა და მონიტორინგისათვის

ჩვენს მიერ გამოიყენება FieldPoint მოწყობილობების ოთხი სახეობა, რომლებიც აღწერილია ქვემოთ.

FP-1001 მოწყობილობა

FP-1001 წარმოადგენს FieldPoint აპარატურული ბლოკის ქსელურ მოდულს. ის გამოიყენება FieldPoint მოწყობილობების ინდუსტრიულ RS-485 ინტერფეისთან დასაკავშირებლად და მათ შორის მონაცემთა გასაცვლელად ASCII კოდების საშუალებით [50]. კავშირი ხორციელდება RS-485/USB ადაპტერით, რომელიც ჩაშენებულია პერსონალური კომპიუტერის სისტემურ ბლოკში. FP-1001 მონაცემთა გაცვლისათვის იყენებს Full Duplex რეჟიმს, რომელიც კავშირის არხით ერთდროულად მონაცემთა ორმხრივი გაცვლის საშუალებას იძლევა. მონაცემთა გადაცემის სიჩქარისა და მოწყობილობის მისამართის დაყენება ხდება კორპუსის უკანა მხარეს არსებული კოდური გადამრთველების (ჯამპერების) საშუალებით,

რაც ავტომატურად აისახება ამ მოწყობილობის სამართავ პროგრამულ ინტერფეისში. FieldPoint ბლოკში შემავალ მოწყობილობებს ავტომატურად ენიჭებათ მისამართები, რომლების უფრო მაღალია, ვიდრე FP-1001 ქსელური ბლოკის მისამართი. მათი შეცვლა და სურვილისამებრ დაკონფიგურირება შესაძლებელია მარტივად. როგორც წესი ქსელურ მოდულს ავტომატურად სისტემის მიერ ენიჭება მისამართი 0, ხოლო მონაცემთა გაცვლის სიჩქარე განისაზღვრება 115.2 კბიტი/წმ-ით. FP-ბლოკების ის მიერ მოხმარებული სიმძლავრე წინასწარ უნდა იქნეს გათვალისწინებული FieldPoint სისტემაში. ამ პარამეტრის დაანგარიშება ხდება შემდეგი ფორმულით:

$$P = 1 \text{ ვატი} * 1.55 * \sum (\text{ყველა გამოყენებული ბლოკის მიერ მოხმარებული სიმძლავრე}).$$

ეს არის სიმძლავრე რასაც მოიხმარს FP-1001 ქსელური ბლოკი და ყველა FieldPoint მოწყობილობა.

FP-DO-401 მოწყობილობა

FP-DO-401 წარმოადგენს ციფრულ (დისკრეტულ) გამომყვან მოდულს 16 არხით, სადაც თითოეულ არხს შეუძლია 2 ამპერი დენის მოწოდება 5-30 ვოლტის ფარგლებში [51]. თითოეული არხი აღჭურვილია გამომყვანი ტერმინალით (V_{out}), საერთო ტერმინალით (COM) და კვების ტერმინალით (V_{sup}). მოცემული გამომყვანი არხები წარმოადგენენ ერთმანეთისგან ოპტიკურად იზოლირებულ გამომყვანებს, ელექტრული შეშფოთებებისა და განმუხტვების თავიდან ასაცილებლად. ჩართულ მდგომარეობაში (ON) მოწყობილობის გამომავალი არხების ელექტრულ სქემაში არსებული ტრანზისტორი ღიაა, ხოლო გამორთულ მდგომარეობაში-ჩაკეტილი და ხდება დენის ძალიან მცირე გაჟონვა.

ჩვენს ექსპერიმენტში მოცემული მოწყობილობა გამოიყენება კრისტალის ძრავის 0-30 V ძაბვით მოსამარაგებლად, რომელიც საჭიროა კრისტალის მოსაბრუნებლად საკუთარი ჰორიზონტალური ღერძის მიმართ.

ეს ოპერაცია გრძელდება მანამ სანამ focus-up (კრისტალის პოზიციონირება ზემოთ) და focus-down (კრისტალის პოზიციონირება ქვემოთ) ღილაკებზე ხდება დაჭერა (ნახ. 52). მოცემული პროცედურის შედეგად ხდება კრისტალის დაყენება იმ კუთხეზე, რომელიც შეესაბამება არეკვლილი სხივების მაქსიმუმს, რომლებიც ფოკუსირდებიან დეტექტორის ზედაპირის ცენტრალურ ნაწილში (დეტექტორული ჩიპის სიმაღლის ნახევარზე). პროგრამის პანელზე focus-up და focus-down ღილაკებზე დაჭერისას, FP-DO-401 კრისტალის ძრავს ამარაგებს შესაბამისი ძაბვებით. თითოეულ ამ ღილაკზე ხელის აუღებლად დაჭერა გამოიწვევს ძაბვის მატებას ან კლებას უწყვეტ რეჟიმში 0-30 V საზღვრებში, რაც მუდმივი დენის ძალის პირობებში კრისტალის პოტენციომეტრიდან მოხსნილ წინაღობას ცვლის და შესაბამისად კრისტალს მობრუნებს სასურველი კუთხით.

FP-AO-220 მოწყობილობა

FP-AO-220 წარმოადგენს FieldPoint სისტემის მოწყობილობას 0-20/ 4-20 მილიამპერი ანალოგური გამომავალი არხებით. ჩვენს ექსპერიმენტში მოცემული მოწყობილობა გამოიყენება პიეზო ელემენტის კვებისათვის. მისი კვება ხორციელდება 5-24 V ძაბვით [52]. 5V ის შემთხვევაში მოწყობილობის გამომყვანი არხები გათვლილნი არიან 100 ომ დატვირთვის წინააღობაზე, ხოლო 24 V-ის შემთხვევაში 1 კილომ დატვირთვის წინააღობაზე. FP-AO-220 ანახლებს მის გამოსასვლელებზე არსებულ მნიშვნელობებს ქსელური მოდულიდან ახალი მონაცემების მიღების შემთხვევაში. მოწყობილობის რეაგირების დრო ერთ არხზე მომხდარ ცვლილებებზე არის 3-6 მილიწამი, ხოლო ყველა არხისათვის ეს პარამეტრი უტოლდება 24-27 მილიწამს. თითოეული არხისათვის გამოსასვლელი მნიშვნელობები კონფიგურირდება 0-20 ან 4-20 მილიამპერ დიაპაზონში.

მოწყობილობის ყოველი არხი აღჭურვილია მონიტორინგის წრედით, რომელიც ადარებს მოქმედ გამომავალ დენის ძალას მის სასურველ მნიშვნელობასთან. იმ შემთხვევაში თუ FP-AO-220 მის გამომავალ არხებზე ვერ უზრუნველყოფს დენის ძალის სასურველ მნიშვნელობებს როგორც წესი ქსელურ მოწყობილობას მიეწოდება ინფორმაცია შეცდომის შესახებ. ასეთი სიტუაცია შეიძლება მოხდეს, როცა მოწყობილობის გამომავალ არხებზე მიერთებულია იმაზე დიდი დატვირთვა, ვიდრე გათვალისწინებულია დოკუმენტაციით, ან როცა მოწყობილობას მიეწოდება დაბალი ძაბვა, რომელიც ვერ უზრუნველყოფს მის გამოსასვლელებზე სათანადო დენის ძალას. პიეცოს სამუშაო ძაბვა და დენის ძალა პერმანენტულად აისახება Labview სისტემის პანელზე. როგორც უკვე აღვწერეთ, პიეცო ელემენტის დანიშნულებას წარმოადგენს კრისტალის კუთხის არსებულ (IST) და სასურველ მნიშვნელობებს (SOLL) შორის სხვაობის მინიმუმამდე დაყვანა.

FP-AI-110 მოწყობილობა

FP-AI-110 წარმოადგენს FieldPoint სისტემის 16 ბიტის მოდულს 8 ანალოგური შემავალი არხით. ის გამოიყენება ძაბვის ან დენის ძალის შემავალ მნიშვნელობებთან სამუშაოდ და აღჭურვილია ხმაურისგან დამცავი სპეციალური გამფილტრავი მექანიზმით (სიხშირე - 50 ჰც, 60 ჰც, 500 ჰც). FP-AI-110 კვებას იღებს აპარატურული ტერმინალიდან, რომელიც კორპუსზეც ის არის დამონტაჟებული. მოწყობილობის თითოეული შემავალი არხი აღჭურვილია ცალკე ტერმინალური შესასვლელებით ძაბვისა და დენის ძალისათვის. FP-AI-110 -ის მაღალი სიზუსტე მიიღწევა 16 ბიტის ანალოგურ-ციფრული გარდამქმნელით და თვითკალიბრაციის მექანიზმით, რომლის საშუალებითაც ის დამოუკიდებლად ახდენს ანალოგურ-ციფრული გარდამქმნელის კალიბრებას სტაბილური ეტალონური ძაბვისათვის. ეს მეთოდი უზრუნველყოფს მოწყობილობის

მაღალ სტაბილურობას დროითი და ტემპერატურული ვარიაციების პირობებში [53].

ჩვენს ექსპერიმენტში FP-AI-110 მოწყობილობის შემავალი პარამეტრებია ვაკუუმის წნევის მნიშვნელობები დეტექტორის კრიოსტატისა და სპექტრომეტრის დანარჩენი ნაწილისათვის, ასევე კრიოსტალის მობრუნების კუთხესთან ასოცირებული ძაბვა (კრიოსტალის პოტენციომეტრზე მიწოდებული ძაბვა) და დეტექტორის პოზიციასთან ასოცირებული ძაბვა (დეტექტორის პოტენციომეტრზე მიწოდებული ძაბვა). ყველა ეს ძაბვა FP-AI-110-ის მიერ ინტერპრეტირდება 0-10.4 V დიაპაზონში. როგორც უკვე აღვნიშნეთ სპექტრომეტრის კრიოსტალი და დეტექტორი აღჭურვილნი არიან წრფივი პოტენციომეტრებით, რომელთა წინაღობა იცვლება სპექტრომეტრის აღნიშნული კომპონენტების პოზიციის ცვლილებისას, რაც მუდმივი დენის ძალის პირობებში იწვევს პოტენციომეტრზე მოდებული ძაბვის ცვლილებას, რაც წარმოადგენს FP-AI-110 მოდულის შემავალ პარამეტრს.

FP-RTD-122 მოწყობილობა

FP-RTD-122 წარმოადგენს FieldPoint სისტემის ტემპერატურის მზომ მოდულს ანალოგური შესასვლელებით. RTD-ომური თერმომეტრები გამორჩეულნი არიან მაღალი სიზუსტით, საიმედოობით და ხანგრძლივი სტაბილურობით. ამ მოწყობილობის ყოველი შემავალი არხი გამოიყენება ტემპერატურული RTD სენსორის ტემპერატურის ან წინაღობის გასაზომად, რადგან წინაღობის ცვლილება წარმოადგენს ტემპერატურის საზომს. FP-RTD-122 აღჭურვილია 8 შემავალი არხით, რომლებიც იზიარებენ ერთ საერთო მიწას, რომელიც იზოლირებულია სხვა მოწყობილობებისაგან. ყოველი შესასვლელი აღჭურვილია 16-ბიტის ანალოგურ-ციფრული გარდამქმნელით, რომელიც შემომავალ წინაღობის ან ტემპერატურის მნიშვნელობას გარდაქმნის ციფრულში [54].

FP-RTD-122-ს შეუძლია ტემპერატურული სენსორის წინაღობის უშუალო გაზომვა ომებში. ეს განსაკუთრებით ხელსაყრელია, როცა მოცემულ მოდულთან მუშაობს არა RTD-ომური თერმომეტრი არამედ სხვა ტიპის სენსორი, რომელიც უშუალოდ FP-RTD-122 მოდულთან თავსებადი არარის. მოცემულ მოწყობილობას შეუძლია 400 – 4000 ომი წინაღობის დიაპაზონთან მუშაობა, რაც იმას ნიშნავს, რომ წინაღობის მნიშვნელობები, რომლებიც მოცემულ საზღვრებს გარეთ იმყოფებიან აღიქმებიან, როგორც შეცდომა.

FP-RTD-122-ს შეუძლია უშუალოდ RTD სენსორის ტემპერატურის გაზომვა (100 ან 1000 ნომინალური წინაღობით) და ასევე ექვსამდე TCR (წინაღობის ტემპერატურული კოეფიციენტი) მნიშვნელობით. RTD სენსორის წინაღობის ტემპერატურული კოეფიციენტი წარმოადგენს გასაშუალოებულ მნიშვნელობას 0-100° C დიაპაზონში.

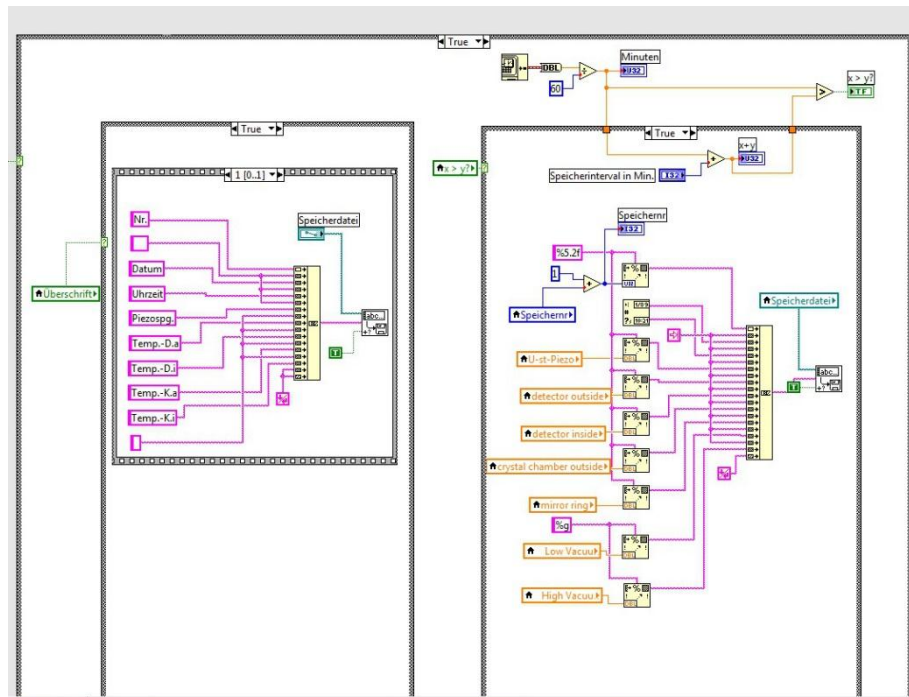
FP-RTD-122 მოწყობილობა მის შესასვლელებზე კითხულობს წინაღობის მნიშვნელობებს და აბრუნებს ტემპერატურების სახით. ტემპერატურული დიაპაზონი ყოველი შემავალი არხისათვის კონფიგურირებულია -200 დან +850° C დიაპაზონში. ყოველ RTD სენსორს 0° C-ზე შეესაბამება გარკვეული წინაღობა და TCR (წინაღობის ტემპერატურული კოეფიციენტი) მნიშვნელობა. ჩვენს ექსპერიმენტში გამოყენებულია PT100 სენსორი, რომლის წინაღობა 0° C-ზე შეადგენს 100 ომს. კალიბრაციის შედეგად მიღებულია ცხრილი, სადაც ყოველი ტემპერატურისათვის გამოანგარიშებულია წინაღობის შესაბამისი მნიშვნელობა. შესაბამისად, წინაღობის ცვლილების გაზომვით მარტივად შეიძლება ტემპერატურის განსაზღვრა.

FP-RTD-122 მოწყობილობის შემავალი პარამეტრები ჩვენს შემთხვევაში არის დეტექტორული კრეოსტატის შიდა და გარე ტემპერატურები და კრისტალის ტემპერატურა. მოცემული პარამეტრები იკითხება 300 მილიწამიან ინტერვალში და აისახება სპექტრომეტრის მომსახურე Labview სისტემის პანელზე.

აღსანიშნავია, რომ ოპტიმალური ფუნქციონირებისათვის დეტექტორის გაგრილება ხდება თხევადი აზოტით -100°C -ზე. მოცემული ტემპერატურა კონტროლდება და ამ მნიშვნელობაზე გაცდენის შემთხვევაში ჩაირთვება გამათბობელი, რომელიც უზრუნველყოფს მის დაბრუნებას ოპტიმალურ მნიშვნელობამდე (-100°C -მდე).

სპექტრომეტრის მონიტორინგის შედეგების არქივირება

მონაცემთა არქივირება სპექტრომეტრის მართვისა და მონიტორინგის სისტემის მნიშვნელოვანი კომპონენტია. ის საშუალებას იძლევა შენახულ იქნას ისეთი პარამეტრები, როგორცაა კრისტალის კუთხე, დეტექტორის



ნახ. 69. Labview SCADA სისტემის ბლოკური დიაგრამა მონიტორინგის შედეგების არქივირებისათვის

პოზიცია, ვაკუუმის დონეები, ტემპერატურები, ანუ ყველა ის პარამეტრი რისი მონიტორინგიც ხორციელდება. იმ შემთხვევაში, თუ სისტემა ავარიულად გამოირთვება, მონაცემთა დაარქივებული მონაცემები იწერება ტექსტურ txt ფაილში. მომხმარებელს ნებისმიერ დროს შეუძლია მისი

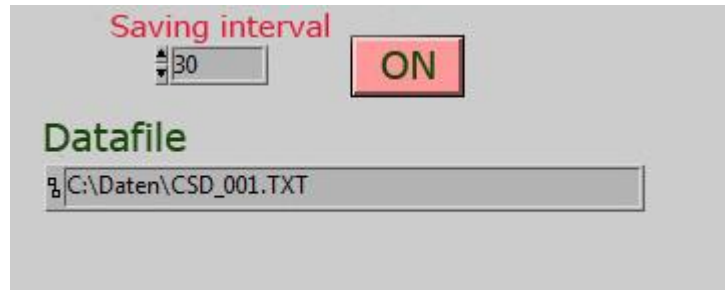
გახსნა და დაგროვილი მონაცემების წაკითხვა. როდესაც გვაქვს დიდი ხნის დაკვირვებების შედეგად მიღებული არქივი, მარტივად შეიძლება მათი გაანალიზება, დასკვნების გაკეთება, მუშაობის სრული ციკლის შეფასება. არქივული მონაცემების დახმარებით ხშირად აგებენ ჰისტოგრამებს, რათა გრაფიკულად წარმოადგინონ და შეაფასონ დაგროვილი სტატისტიკური მონაცემები. ბაზაში დაგროვილი ინფორმაცია საშუალებას მოგვცემს გავაანალიზოთ თუ რა მოხდა, და მივიღოთ ზომები,

Nr.	Datum	Uhrzeit	L1 CCD	L2 CCD	L3 supp.	L4 supp.	L5 shield	L6.	L7.	L8.	L9.
1,00	21.04.11	11:17	24,00	24,07	24,06	24,01	24,06	24,03	24,00	23,97	
2,00	21.04.11	11:23	23,98	24,05	23,94	24,00	23,79	23,95	24,00	23,98	23,96
3,00	21.04.11	11:28	23,95	23,38	23,92	24,00	20,91	22,16	23,52	23,96	23,94
4,00	21.04.11	11:33	23,79	21,65	23,84	23,92	16,34	18,31	21,48	23,93	23,93
5,00	21.04.11	11:38	23,41	19,26	23,57	23,66	11,29	13,59	18,04	23,90	23,88
6,00	21.04.11	11:43	22,72	16,60	23,10	23,21	6,37	8,67	13,76	23,85	23,83
7,00	21.04.11	11:48	21,76	13,86	22,40	22,54	1,86	3,93	9,14	23,79	23,78
8,00	21.04.11	11:53	20,57	11,18	21,50	21,66	-2,23	-0,43	4,63	23,72	23,70
9,00	21.04.11	11:58	19,18	8,56	20,40	20,59	-6,03	-4,50	0,30	23,64	23,64
10,00	21.04.11	12:03	17,62	5,98	19,13	19,32	-9,54	-8,28	-3,74	23,56	23,56
11,00	21.04.11	12:08	15,94	3,48	17,69	17,91	-12,77	-11,74	-7,52	23,48	23,48
12,00	21.04.11	12:13	14,19	1,06	16,18	16,39	-15,75	-14,95	-11,01	23,42	23,41
13,00	21.04.11	12:18	12,35	-1,27	14,55	14,77	-18,51	-17,94	-14,26	23,34	23,32
14,00	21.04.11	12:23	10,46	-3,54	12,82	13,06	-21,09	-20,70	-17,26	23,26	23,27
15,00	21.04.11	12:28	8,52	-5,74	11,05	11,26	-23,52	-23,28	-20,06	23,18	23,19
16,00	21.04.11	12:33	6,62	-7,87	9,21	9,45	-25,75	-25,68	-22,64	23,12	23,11
17,00	21.04.11	12:38	4,64	-9,97	7,35	7,58	-27,91	-27,96	-25,09	23,04	23,04
18,00	21.04.11	12:43	2,69	-12,02	5,48	5,70	-29,93	-30,12	-27,40	22,96	22,96
19,00	21.04.11	12:48	0,74	-13,99	3,59	3,81	-31,85	-32,14	-29,57	22,89	22,90
20,00	21.04.11	12:53	-1,20	-15,96	1,65	1,87	-33,71	-34,09	-31,62	22,83	22,84
21,00	21.04.11	12:58	-3,14	-17,86	-0,27	-0,05	-35,49	-35,94	-33,57	22,76	22,77
22,00	21.04.11	13:03	-5,06	-19,74	-2,18	-1,97	-37,19	-37,72	-35,43	22,70	22,72
23,00	21.04.11	13:08	-6,97	-21,57	-4,10	-3,90	-38,86	-39,41	-37,21	22,65	22,66
24,00	21.04.11	13:13	-8,88	-23,39	-6,02	-5,80	-40,46	-41,06	-38,94	22,59	22,61
25,00	21.04.11	13:18	-10,75	-25,17	-7,92	-7,71	-42,01	-42,68	-40,60	22,54	22,56
26,00	21.04.11	13:23	-12,59	-26,93	-9,79	-9,60	-43,53	-44,22	-42,24	22,49	22,52
27,00	21.04.11	13:28	-14,44	-28,66	-11,63	-11,46	-45,01	-45,77	-43,81	22,46	22,47
28,00	21.04.11	13:33	-16,23	-30,36	-13,46	-13,30	-46,47	-47,26	-45,35	22,41	22,42
29,00	21.04.11	13:38	-18,03	-32,04	-15,29	-15,10	-47,88	-48,71	-46,87	22,36	22,39
30,00	21.04.11	13:43	-19,79	-33,69	-17,10	-16,91	-49,29	-50,15	-48,33	22,31	22,34
31,00	21.04.11	13:48	-21,54	-35,31	-18,86	-18,68	-50,68	-51,53	-49,77	22,30	22,32
32,00	21.04.11	13:53	-23,25	-36,90	-20,62	-20,46	-52,01	-52,89	-51,18	22,27	22,29
33,00	21.04.11	13:58	-24,95	-38,47	-22,35	-22,19	-53,32	-54,23	-52,56	22,22	22,26
34,00	21.04.11	14:03	-26,61	-40,04	-24,03	-23,91	-54,64	-55,56	-53,93	22,20	22,24
35,00	21.04.11	14:08	-28,25	-41,56	-25,73	-25,59	-55,90	-56,86	-55,25	22,17	22,23
36,00	21.04.11	14:13	-29,88	-43,07	-27,41	-27,27	-57,19	-58,14	-56,55	22,15	22,19
37,00	21.04.11	14:18	-31,50	-44,56	-29,03	-28,91	-58,40	-59,39	-57,83	22,14	22,18
38,00	21.04.11	14:23	-33,09	-46,01	-30,68	-30,56	-59,62	-60,63	-59,06	22,11	22,18
39,00	21.04.11	14:28	-34,66	-47,43	-32,42	-32,47	-60,80	-61,84	-60,30	22,09	22,13
40,00	21.04.11	14:33	-36,21	-48,91	-33,90	-33,76	-62,01	-63,05	-61,51	22,06	22,11
41,00	21.04.11	14:38	-37,73	-50,31	-35,46	-35,33	-63,16	-64,18	-62,73	22,06	22,08
42,00	21.04.11	14:43	-39,22	-51,69	-37,00	-36,89	-64,28	-65,35	-63,90	22,01	22,07
43,00	21.04.11	14:48	-40,70	-53,05	-38,52	-38,41	-65,42	-66,47	-65,05	21,99	22,03
44,00	21.04.11	14:53	-42,17	-54,39	-40,02	-39,91	-66,54	-67,61	-66,21	21,98	22,03
45,00	21.04.11	14:58	-43,61	-55,71	-41,48	-41,37	-67,63	-68,72	-67,33	21,96	21,99
46,00	21.04.11	15:03	-45,02	-57,01	-42,94	-42,85	-68,71	-69,81	-68,45	21,93	21,97
47,00	21.04.11	15:08	-46,45	-58,30	-44,40	-44,29	-69,78	-70,88	-69,56	21,90	21,97

ნახ. 70. მონიტორინგი შედეგების ამსახველი საარქივო ფაილი

რათა მომავალში ავირიდოთ იგივეს განმეორება (თუკი ეს შესაძლებელია). Labview SCADA სისტემის ბლოკური დიაგრამა, რაც უზრუნველყოფს მონაცემთა არქივირებას ნაჩვენებია ნახ. 70 -ზე. მოცემულ სურათზე აღნიშნულია ის ბლოკები, რომლებიც უზრუნველყოფენ შესაბამისი მოწყობილობებიდან მონაცემების ამოკითხვას და მათ ჩაწერას txt გაფართოების მქონე ტექსტურ ფაილში (ნახ. 71). ასევე შესაძლებელია მიეთითოს დროის ინტერვალი, რა ინტერვალისაა შესაძლებელია მოხდეს მონაცემთა არქივირება. მონაცემთა არქივირება გრძელდება მუდმივად, მანამ სანამ ოპერატორი ხელით არ გამორთავს მას. არქივირების ბლოკები

უზრუნველყოფენ ნახ. 72-ზე ნაჩვენები პროგრამული პანელის ფუნქციონირებას.



ნახ. 71. მონაცემთა არქივირების პროგრამული პანელი

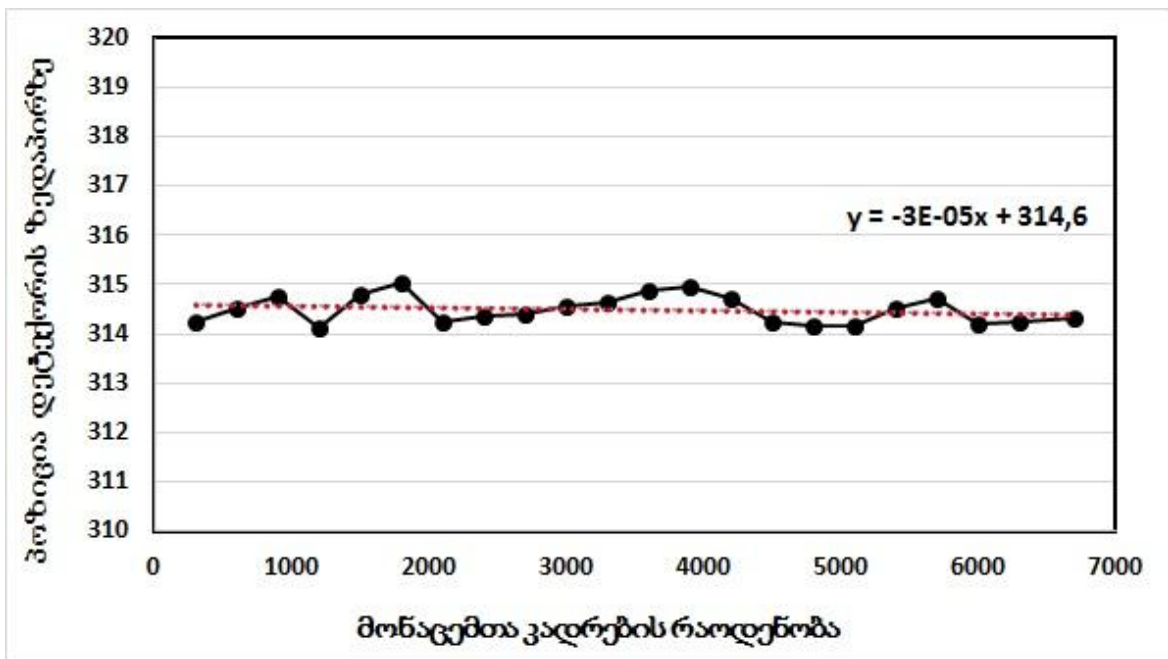
შესაძლებელია მივუთითოთ გზა ფაილამდე, სადაც უნდა მოხდეს მონაცემების ჩაწერა, ავირჩიოთ დროითი ინტერვალი, რაც მოცემულ შემთხვევაში დაყენებულია 30 წუთზე. ON ღილაკზე დაჭერისას დაიწყება მონაცემთა არქივირების პროცესი.

2.1.9.5 იულიხის სპექტრომეტრის მართვისა და მონიტორინგის Labview SCADA სისტემის სტაბილურობის შეფასება

იულიხის კრისტალური სპექტრომეტრისათვის სტაბილურობა უმნიშვნელოვანესი პარამეტრია. განსაკუთრებით მნიშვნელოვანია კრისტალის ორიენტაცია დეტექტორის მიმართ შენარჩუნებული იქნეს უცვლელად, ანუ კრისტალიდან არეკვლილი რენტგენის სხივები ფოკუსირდნენ დეტექტორის მგრძნობიარე ზედაპირის ერთსადაიმავე პიქსელზე. ეს ნიშნავს იმას, რომ კრისტალის კუთხე, რომლის დაყენება ხდება ჩვენს მიერ დაპროექტებული Labview SCADA სისტემის საშუალებით, სტაბილურად უნდა იყოს ფიქსირებული ერთ კონკრეტულ მნიშვნელობაზე. მოცემული კუთხის მეშვეობით განისაზღვრება საკვლევი ობიექტიდან (ჩვენს შემთხვევაში მანგანუმის შენაერთებიდან) აღძრული რენტგენის

სხივების ენერგიები. კრისტალის კუთხის ცვლილება გამოიწვევს რენტგენის სხივების ენერგიების არასწორ ინტერპრეტირებას, ამიტომ განსაკუთრებული მნიშვნელობა ენიჭება მის სტაბილურად შენარჩუნებას.

ექსპერიმენტის მსვლელობისას მონაცემების ჩაწერა ხდება კადრების სახით. კადრი არის მონაცემის სტრუქტურა, რომელიც შეესაბამება დეტექტორის ყველა პიქსელიდან (საერთო რაოდენობა 600 x 600) ამოკითხულ ინფორმაციას. როგორც წესი ექსპერიმენტის განმავლობაში ხდება საკვლევი ობიექტიდან მონაცემთა 10 000 -მდე კადრის აღება, რაც გრძელდება ერთი კვირის განმავლობაში. ამ დროს კრისტალის კუთხის ცვლილება გამოიწვევს აღებული მონაცემების (რომლებიც გამოიყენება საკვლევი ობიექტის რენტგენის სხივების ენერგიის დასადგენად) არასწორ ინტერპრეტაციას, რასაც მივყავართ რენტგენის ენერგიების არასწორ დაანგარიშებამდე.



ნახ. 72. საკვლევი ობიექტის რენტგენული სპექტრის პიკური პოზიცია დეტექტორის მგრძობიარე ზედაპირზე

აღნიშნული დაბრკოლების თავიდან ასაცილებლად კრისტალის კუთხის დაყენება SCADA სისტემის საშუალებით ხორციელდება მაღალი 0,2 სეკუნდის სიზუსტით, ხოლო მისი მონიტორინგი წარმოებს მუდმივ რეჟიმში. ასევე ექსპერიმენტის მსვლელობისას პერიოდულად ხდება მონაცემთა კადრების ანალიზი, რომლის მიზანია დადგინდეს რენტგენული სპექტრის პიკის პოზიცია დეტექტორის მგრძობიარე ზედაპირზე. როგორც წესი, სპექტრის პიკი შეესაბამება დეტექტორის ერთ პიქსელს, რომელიც მისი მგრძობიარე ზედაპირის ცენტრალურ ნაწილში მდებარეობს. დასაშვებია მოცემული პიქსელიდან გადახრა მაქსიმუმ მხოლოდ ერთი პიქსელით. ნახ. 73-ზე ნაჩვენებია მონაცემთა კადრების ანალიზის შედეგად მიღებული რენტგენული სპექტრის პიკური პოზიციები. როგორც მოცემული სურათიდან ჩანს ანალიზი შესრულებულია მონაცემთა 6000 კადრისათვის. ყოველი მათგანისათვის პიკური მნიშვნელობა მდებარეობს დეტექტორის 314-ე ან 315-ე პიქსელში, რაც იმას ნიშნავს, რომ კრისტალის კუთხე სტაბულურად უცვლელია ექსპერიმენტის მსვლელობისას, რაც უდაოდ ჩვენს მიერ დაპროექტებული სპექტრომეტრის მართვისა და მონიტორინგის Labview SCADA სისტემის დამსახურებაა. დაპროექტებული SCADA სისტემა უზრუნველყოფს მთლიანი სპექტრომეტრული სისტემის სტაბილურ მუშაობას, ხოლო პრობლემების დაფიქსირების შემთხვევაში მათი ანალიზის საშუალებას იძლევა.

იულისის კვლევითი ცენტრის ბირთვული ფიზიკის ინსტიტუტში არსებული კრისტალური სპექტრომეტრით მოცემული სადოქტორო სამუშაოს ფარგლებში შესრულდა ექსპერიმენტული გაზომვები მანგანუმის სხვადასხვა ქიმიურ შენაერთზე, მახასიათებელი რენტგენული გამოსხვივებების კვლევის და მათი ენერგიების ზემადალი სიზუსტით დასადგენად. მანგანუმი მიეკუთვნება ე.წ. 3d ქიმიური ელემენტების წყებას, რომელთა ელექტრონული კონფიგურაცია საინტერესოა, ბოლომდე დაუკომპლექტებელი 3d ელექტრონული შრის გამო (5 ელექტრონი ნაცვლად 10 - ისა), რაც საბოლოო ჯამში იწვევს საინტერესო ეფექტებს

ელექტრონებს შორის ურთიერთობებში და განაპირობებს გამოსხივებული რენტგენული სპექტრის საკმაოდ რთულ და საინტერესო სტრუქტურას, რომელიც ბოლომდე გამოკვლეული არ არის.

მიღებულია შემდეგი შედეგები:

- მანგანუმის ქიმიური შენაერთების მახასიათებელი K_{α} და K_{β} რენტგენული გამოსხივების სპექტრი გაზომილ იქნა ზემოაღნიშნული სიზუსტით ± 10 მილიელექტრონვოლტი, რისთვისაც გამოყენებულ იქნა ბრეგის კრისტალური სპექტრომეტრი, რომლის პროგრამულ-აპარატურული მართვა და მონიტორინგი ხორციელდებოდა მოცემული სადოქტორო სამუშაოს ფარგლებში დაპროექტებული მაღალწარმადი SCADA სისტემით. ექსპერიმენტული გაზომვების მიღწეული სიზუსტე წარმოადგენს პრეცედენტს მანგანუმის შენაერთებისათვის. ლიტერატურულ წყაროებში მოპოვებული ინფორმაციის თანახმად, იულიხის კვლევითი ცენტრის კრისტალურ სპექტრომეტრზე წარმოებული გაზომვების სიზუსტე დაახლოებით 7 ჯერ აღემატება ამ მიმართულებით სხვა სამეცნიერო ჯგუფების მიერ დღემდე მიღწეულ შედეგებს, რაც ხაზს უსვამს მაღალწარმადი SCADA სისტემის მნიშვნელობას, რამეთუ მის გარეშე შეუძლებელი იქნებოდა მოცემული სიზუსტის შედეგების მიღება.
- ჩატარებული ექსპერიმენტული გაზომვების შედეგად დაგროვდა დიდი რაოდენობით მონაცემები, რომელთა ანალიზი საშუალებას იძლევა გამოტანილ იქნას დასკვნა, მანგანუმის გამოკვლეული ქიმიური შენაერთების მახასიათებელი რენტგენული სპექტრის პიკების ფორმა და შესაბამისი ენერგიები პირდაპირ და ძლიერ კავშირშია გარემომცველ ქიმიურ გარემოსთან, რაც აქამდე დადასტურებული არ იყო.
- დაფიქსირებულია რენტგენული სპექტრის ასიმეტრიულობა და გაანალიზებულია მისი გამომწვევი მიზეზები. შემუშავებულია რენტგენული სპექტრის ფორმის აღმწერი უნივერსალური მოდელი,

რომელიც შესაძლებელია მისადაგებული იქნეს მომავალში ჩასატარებელ რენტგენულ გაზომვებზე. იულიხის კვლევით ცენტრში კრისტალურ სპექტრომეტრზე ჩატარებული ექსპერიმენტული გაზომვები დიდ დახმარებას გაუწევს ერთის მხრივ ამ სფეროში მოღვაწე თეორეტიკოსებს იმ თეორიული გათვლების და ეფექტების ახსნაში, რაც აქამდე არსებობდა და ექსპერიმენტულად დადასტურებული არ იყო, ხოლო მეორეს მხრივ ამ სფეროში მოღვაწე ექსპერიმენტატორ მკვლევარებს, სწრაფად და მარტივად მოახდინონ მანგანუმის სხვა ქიმიურ შენაერთებში რენტგენული სპექტრის კომპონენტების იდენტიფიკაცია და მათი შესაბამისი ენერგიების მაქსიმალური პროგრამული სიზუსტით განსაზღვრა. აპარატურული სიზუსტე დამოკიდებულია უშუალოდ გამოყენებული გაზომვის ტექნიკაზე და აპარატურულ უზუნველყოფაზე.

დასკვნები

- განხილულია SCADA სისტემის არსი და მნიშვნელობა, დახასიათებულია მისი გამოყენების უპირატესობები.
- დამუშავებულია იულიხის რენტგენული სპექტრომეტრის მართვისა და მონიტორინგის SCADA სისტემის არქიტექტურა.
- დამუშავებულია მომსახურე SCADA სისტემაში წარმადობის ამალღების მეთოდი.
- დამუშავებულია რენტგენული სპექტრომეტრის ცალკეულ კომპონენტებთან სამუშაო ალგორითმები და მათი მართვისა და მონიტორინგის პოლიტიკა.
- შემუშავებულია SCADA სისტემის მაღალწარმადობის შეფასების კრიტერიუმები, რომლებიც მისადაგებულია იულიხის რენტგენული სპექტრომეტრის მოთხოვნილებებთან.
- დამუშავებულია სპექტრომეტრის ცალკეული კომპონენტების მართვის მოქნილი ალგორითმები, რომლებიც უზრუნველყოფენ ამ კომპონენტების და საერთო ჯამში სპექტრომეტრის შესაძლებლობების სრულ გამოყენებას და იმ შედეგების მიღწევას, რაც გულისხმობს საკვლევ ობიექტებში (სხვადასხვა ქიმიურ შენაერთებში) რენტგენის სხივების ენერგიების ზემალალი სიზუსტით განსაზღვრას.
- ექსპერიმენტულად გამოკვლეულია სპექტრომეტრის მომსახურე SCADA სისტემის წარმადობის დამაზრკოლებელი ფაქტორები და დამუშავებულია აპარატურულ-პროგრამული უზრუნველყოფები სისტემის ფუნქციონირების ეფექტურობის ასამალღებლად.
- დამუშავებული სისტემის რეალიზაციის შედეგები ადასტურებენ სამუშაოში მიღებული სამეცნიერო შედეგების სისწორეს და საინჟინრო გადაწყვეტების ეფექტურობას.

გამოყენებული ლიტერატურა

1. Boyer S.A., Supervisory Control and Data Acquisition, fourth edition, USA, ISA Society, 2004, 257 p.
2. Coulouris G, Dollimore J, Kindberg T, Distributed Systems: Concepts and Design, fifth edition, USA, Addison-Wisley Inc, 2000, 1048 p.
3. Зюзев А. М., Нестеров К.Е., Головин И.С., SCADA-системы. Екатеринбург, ГОУ ВПО УГТУ-УЛИ 2009, ст 2-8.
4. Kshemkalyani A.D., Singhal M., Distributed Computing: Principles, Algorithms, and Systems, Cambridge, Cambridge University Press, 2008, 736 p.
5. Jordan H., Practical SCADA for Industry, Burlington, Linacre House. 2003, pp 67-89.
6. Wiles J., Paul A. Guide to Securing SCADA. Burlington, Syngress Publishing Inc. 2005, pp 66-75.
7. Park J., Mackay S. Data Acquisition for Instrumentation and Control Systems. Burlington, Linacre House, 2003, 407 p.
8. Gordon C., Regnders D. Modern SCADA Protocols, Burlington, IDC Technologies, 2004. pp 25-46.
9. Modicon Modbus Protocol Reference Guide, MODICON, Inc., Industrial Automation Systems, North Andover, Massachusetts, 1996.
10. Reynders D., Machay S., Wright E. Industrial Data Communications, Burlington, Linacre House, 2005, pp 92-108.
11. Perrin B., The Art and Science of RS-485, Circuit Cellar Magazine, 1999, pp 5-12.
12. Mini S. T., McDonald J. D., Power System SCADA and Smart Grids, CRC Press, 2015, 335 p.
13. Khedkar M. K., Dhole G. M. Electric Power Distribution Automation. New Dehli, Golden House, 2010, pp 39-48.
14. Thomas G., Introduction to Modbus Serial and Modbus TCP, A technical supplement to control network, Contemporary Control Systems inc., 2008, 9, 5, pp 2-4.
15. Modbus Protocol Guide, USA, Trexon inc, 2000, pp 7-26;
16. Введение в MODBUS протокол, промышленные сети/ обзор, 2000, pp 22-26.
17. Managing latency between Modbus Ethernet and serial networks. (http://www.moxa.com/newsletter/connection/2007/11/Managing_latency_or_integrated_Modbus_networks.htm). უკანასკნელად იქნა გადამოწმებული 30.05.2016.
18. Introduction to Modbus Gateways, Serial to Ethernet connections, USA, Acromag Inc, 2000, pp 9-11.
19. Swales A., OPEN MODBUS/TCP SPECIFICATION, Schneider Electric Corporation, 1999, pp 15-25;

20. Randell B., Lee P.A., Treleaven P.C., Reliability issues in computer systems, Computing surveys, 2000, 10, 2, pp 123-165.
21. Fovino I. N., Carcano A., Masera M., and Trombetta A., Design and implementation of a secure Modbus protocol, IFIP international federation for information processing, 2009, pp 80-85;
22. Palmer C. and Sheno S., Critical Infrastructure Protection III, IFIP AICT 311, 2009, pp. 83–96.
23. Jones A. and Ashenden D., Risk Management for Computer Security: Protecting Your Network and Information Assets, Elsevier, Oxford, United Kingdom, 2005. 296 p.
24. Modbus IDA, MODBUS Application Protocol Specification v1.1a, North Grafton, Massachusetts (www.modbus.org/specs.php), 2004.
25. Huitsing P., Chandia R., Papa M., and Sheno S., Attack taxonomies for the Modbus protocols, International Journal of Critical Infrastructure Protection, vol. 1, 2008, pp. 37–44.
26. იმნაიშვილი ლ., ჯაბუა მ., ჩხიკვაძე კ., ელექტროქსელის პარამეტრების გამზომი მულტიფუნქციური ხელსაწყოს წარმადობის ამალგება, შრომები „მართვის ავტომატიზებული სისტემები“ #1(21), სტუ. თბილისი, 2016 წ., გვ. 38–42.
27. Network Parameter Meter N14 type.
http://www.lumel.com.pl/en/area_of_activity/measurement_of_power_energy_ha/art244,3-phase-power-network-meter-n14.html უკანასკნელად იქნა გადამოწმებული 30.05.2016.
28. Strauch T., PhD thesis, High-precision measurement of strong-interaction effects in pionic deuterium, Germany, 2009, pp 10-20.
29. Weidemann Ch., Messung der Chemischen Verschiebung von Mangan, University of Jena, Germany, 2007.
30. Gotta D., Simons L.M., Spectr. Chim. Acta, 2016, p 120.
31. Nelms N., A new determination of the charged Pion mass and Muon Neutrino mass upper limit from exotic atom X-ray spectroscopy, University of Leicester, England, 2002.
32. Janesick J.R., Scientific Charge-Coupled Devices, SPIE press, USA, 2000.
33. Jabua M., Master thesis, Readout upgrade of the focal plane detector of the Juelich Bragg spectrometer, Germany, 2011.
34. Gotta D., Precision spectroscopy of light exotic atoms, Prog. Part. Nucl. Phys. 2004, pp 133-135.
35. Covita D., High Precision Spectroscopy of the 3p – 1s X-Ray Transition in Muonic Hydrogen, Coimbra, Portugal, 2008.
36. Haime, A. L., “Practical Guide to SCADA Communications.” SCADA at the Crossroads Conference Workshop, Australia, 1998.
37. იმნაიშვილი ლ., ბედინეიშვილი მ., ტალიკაძე თ., ჯაბუა მ., SCADA სისტემებში ადამიანი-კომპიუტერის ინტერფეისის დამუშავების საკითხისათვის. შრომები „მართვის ავტომატიზებული სისტემები“ #2(13), სტუ. თბილისი, 2012 წ., გვ. 66–68.

38. იმნაიშვილი ლ.შ., ბედინეიშვილი მ.მ., ჯაბუა მ.ა. ელექტრული პარამეტრების გაზომვისა და ვიზუალიზაციის სისტემა. მე-3 საერთაშორისო საერთაშორისო კონფერენცია „ენერგეტიკა: რეგიონალური პრობლემები და განვითარების პერსპექტივები“, ქ.ქუთაისი, 24.10.2015–25.10.2015. მოხსენებების კრებული, გვ. 9–13
39. Radvanovsky R., Brodsky J., Handbook of SCADA/Control Systems Security, CRC Press, 2013, 383 p.
40. Nebojsa M., Introduction to PLC controllers, Mikroelektronika, 2007, 363 p.
41. Process control, automation, instrumentation and SCADA, IDC technologies and ventus publishing, 2012. <http://bookboon.com/de/process-control-ebook> უკანასკნელად იქნა გადამოწმებული 30.05.2016.
42. Trawis J., Kring J., Labview for everyone, Prentice Hall, 2006, 1032 p.
43. Heidenhein Ik-120 module user manual, http://irtfweb.ifa.hawaii.edu/~tcs3/tcs3/vendor_info/Heidenhain/IK220/IK220_en.pdf უკანასკნელად იქნა გადამოწმებული 30.05.2016.
44. National Instruments NI-PCI-7334 module user manual, <http://www.ni.com/pdf/manuals/322504b.pdf> უკანასკნელად იქნა გადამოწმებული 30.05.2016.
45. Capacitive Proximity sensors, <http://www.softnoze.com/downloads/Sensor%20Basics%203.pdf> უკანასკნელად იქნა გადამოწმებული 30.05.2016.
46. National Instruments NI-UMI-7774 module user manual, <http://www.ni.com/pdf/manuals/373359c.pdf> უკანასკნელად იქნა გადამოწმებული 30.05.2016.
47. Dineva P. et al., Dynamic Fracture of Piezoelectric Materials, Solid Mechanics and Its Applications 212, Springer International Publishing Switzerland 2014, pp 7-12.
48. PT-100 temperature sensors documentation www.greisinger.de უკანასკნელად იქნა გადამოწმებული 30.05.2016.
49. Combivac CM 31 module user manual, http://dps-vakuu.de/BetriebsAnleitung/Betriebsanleitung_COMBIVAC_CM31.pdf უკანასკნელად იქნა გადამოწმებული 30.05.2016.
50. National Instruments FP-1001 RS-485 network module user manual, <http://www.ni.com/pdf/manuals/370706a.pdf> უკანასკნელად იქნა გადამოწმებული 30.05.2016.
51. National Instruments FP-DO-401 16 channel, to 30 V discrete module user manual, <http://www.ni.com/pdf/manuals/371886a.pdf> უკანასკნელად იქნა გადამოწმებული 30.05.2016.
52. National Instruments FP-AO-200 8 channel, 20 mA module user manual, <http://www.ni.com/pdf/manuals/323343a.pdf> უკანასკნელად იქნა გადამოწმებული 30.05.2016.
53. National Instruments FP-AI-110 8-channel, 16 bit analog input module user module manual, <http://www.ni.com/pdf/manuals/373280b.pdf> უკანასკნელად იქნა გადამოწმებული 30.05.2016.

54. National Instruments RTD-122 8 channel, 3-wire RTD and resistance input module user manual, <http://www.ni.com/pdf/manuals/373348b.pdf>
უკანასკნელად იქნა გადამოწმებული 30.05.2016.