

გიორგი ბენაშვილი

ტექნოლოგიური პროცესის მონიტორინგისა და მართვის SCADA
სისტემის დამუშავება და კვლევა

წარდგენილია დოქტორის აკადემიური
ხარისხის მოსაპოვებლად

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი
თბილისი, 0175, საქართველო
აგვისტო, 2013 წელი

საავტორო უფლება © 2013 წელი, გიორგი ბენაშვილი

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

ინფორმატიკისა და მართვის სისტემების ფაკულტეტი

ჩვენ, ქვემოთ ხელის მომწერი ვადასტურებთ, რომ გავეცანით გიორგი ბენაშვილის მიერ შესრულებულ სადისერტაციო ნაშრომს დასახელებით: "ტექნოლოგიური პროცესის მონიტორინგისა და მართვის SCADA სისტემის დამუშავება და კვლევა" და ვაძლევთ რეკომენდაციას საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის ინფორმატიკისა და მართვის სისტემების ფაკულტეტის სადისერტაციო საბჭოში მის განხილვას დოქტორის აკადემიური ხარისხის მოსაპოვებლად

თარიღი:

ხელმძღვანელი: ტ.მ.დ. სრ. პროფ. ლევან იმნაიშვილი:_____

რეცენზენტი: სრ. პროფ. სერგო ცირამუა_____

რეცენზენტი: ასოც. პროფ. ცისანა ხომტარია_____

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

2013 წელი

ავტორი: გიორგი ბენაშვილი

დასახელება: ტექნოლოგიური პროცესის მონიტორინგისა და მართვის SCADA სისტემის დამუშავება და კვლევა

ფაკულტეტი: ინფორმატიკისა და მართვის სისტემების

ხარისხი: დოქტორი

სხდომა ჩატარდა:

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

დოქტორანტი _____ გიორგი ბენაშვილი

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

დისპეტჩერული მართვა და მონაცემების შეგროვება (SCADA - Supervisory Control and Data Acquisition)რთული, დინამიური სისტემების (პროცესების) ავტომატიზირებული მართვის ერთ-ერთი ძირითადი და დღესდღეობით ყველაზე პერსპექტიული მეთოდია. ეს მეთოდი სასიცოცხლოდ მნიშვნელოვანია სფეროებში, სადაც უსაფრთხოება და საიმედოობა კრიტიკულად აუცილებელია. SCADA სისტემები ფართოდ გამოიყენება ნებისმიერი პროფილის წარმოების ტექნოლოგიურ პროცესში. ძირითადში ეს არის მონიტორინგისა და მართვის ციფრული სისტემები და ა.შ.

პარამეტრების გაზომვა ერთ-ერთი რთული რგოლია პროდუქციის შექმნის ტექნოლოგიურ პროცესში. ამასთან პარამეტრების გაზომვის პროცესი დაკავშირებულია აგრეთვე გაზომვის შედეგების მიწოდებასთან პერსონალისადმი. ბოლო დროს ფართოდ გამოიყენება მრავალფუნქციური გამზომი ციფრული მოწყობილობები, რომლებიც აიაფებენ გაზომ სისტემებს, მაგრამ მათში ინტეგრირებული დისპლეები მიუღებელნი არიან პერსონალისადმი, რადგან ვერ აკმაყოფილებენ ერგონომიულ მოთხოვნებს. გარდა ამისა, მრავალფუნქციური გამზომი ხელსაწყოს დისპლეიზე მოცემულ მომენტში აისახება მხოლოდ ერთი ან რამდენიმე (ხელსაწყოს ტიპიდან გამომდინარე) ელექტრული პარამეტრი, რაც ასევე მიუღებელია ტექნოლოგიური პროცესის მართვისას. ამდენად დგება ამოცანა ისეთი SCADA სისტემის აგებისა, რომელშიც წარმოჩინებული იქნება ციფრული გამზომი ხელსაწყოების უპირატესობანი და ასევე ერგონომიული თვალსაზრისით მისაღები იქნება მომსახურე პერსონალისათვის.

ნაშრომის პირველ თავში გამოკვლეულია რეალურ დროში ფუნქციონირებადი SCADA სისტემის არქიტექტურა, როგორც განაწილებული ციფრული სისტემა. კონკრეტულად შესწავლილია ჰიდრო-ელექტროსადგურის ელექტრული პარამეტრების გაზომვისა და ასახვის SCADA სისტემა. გამოკვლეულია SCADA სისტემის და მისი კომპონენტების ერგონომიულობის საკითხები და დადგენილია ერგონომიული ეფექტურობის კრიტერიუმები. ამ თვალსაზრისით აღსანიშნავია, რომ ოპერატორს ინფორმაციის აღქმისა და განზოგადებისთვის სჭირდება ტექნიკური საშუალებები, რომლებსაც ინფორმაციის ასახვის საშუალებები ეწოდება. ადამიანი-ოპერატორის საქმიანობაში ყველაზე მნიშვნელოვანი ფუნქცია აკისრია ინფორმაციის ვიზუალური ასახვის საშუალებებს და მათ შორის უპირველ ყოვლისა დისპლეებს. დადგენილია ის ძირითადი ფაქტორები, რაც ხელს უწყობს დისპლეიზე გამოსახული ვიზუალური ინფორმაციის აღქმას.

ნაშრომის პირველ თავში აგრეთვე ჩამოყალიბებულია მრავალფუნქციურობის ორი პრინციპი და პირობა, რომლის დაკმაყოფილების შემთხვევაში ციფრული სისტემის ელემენტი შეგვიძლია მივიჩნიოთ მრავალფუნქციურად.

ნაშრომის მეორე თავში გამოკვლეულია SCADA სისტემებში გამოყენებული მრავალფუნქციური ციფრული გამზომი ხელსაწყოები. დადგენილია, რომ ისინი ფუნქციონალური შესაძლებლობებით მკვეთრად აღემატებიან ტრადიციულ ციფრულ გამზომ ხელსაწყოებს. მრავალფუნქციური ციფრული გამზომი ხელსაწყოების ნაკლოვანებად შეიძლება ჩაითვალოს ის ფაქტი, რომ მათ ეკრანებზე აისახება გასაზომი პარამეტრების შეზღუდული რაოდენობა, ხოლო თავად ეკრანის ფუნქციონალური შესაძლებლობა არ აკმაყოფილებს ერგონომიულობის მოთხოვნებს. აქედან გამომდინარე, ტექნოლოგიური პროცესების კონტროლისა და მართვის სისტემებში შეუძლებელია მხოლოდ გამზომი ხელსაწყოების ეკრანზე გამოსახულ ინფორმაციაზე დაყრდნობა და აუცილებელი ხდება ინფორმაციის ასახვის თანამედროვე და უფრო ერგონომიული საშუალებების გამოყენება, რაშიც უპირველეს ყოვლისა იგულისხმება თანამედროვე LCD მონიტორები.

მონიტორს ან დისპლეის და ვიდეოადაპტერს ერთმანეთთან აკავშირებს ვიდეოინტერფეისი. გამოკვლეულია დღეისათვის არსებული ვიდეოინტერფეისები და შერჩეულია თანამედროვე ციფრული ინტერფეისი DVI. გამოკვლეულია DVI ინტერფეისის მონაცემთა გადაცემის TMDS პროტოკოლი. ნაჩვენებია, თუ რა უპირატესობა აქვს ციფრულ ვიდეოინტერფეისებს და მათ შორის DVI ინტერფეისს ანალოგურ ვიდეოინტერფეისებთან შედარებით.

ჩვენს მიერ შემოთავაზებულია SCADA სისტემებში გამოყენებული მრავალფუნქციური ციფრული გამზომი ხელსაწყოების ერგონომიულობის ამაღლების მეთოდი თანამედროვე ციფრული ვიდეოინტერფეისისა და მონიტორის გამოყენებით. დადგენილია, რომ მფცხ-ის ფუნქციური შესაძლებლობები ($CardF=n$) წინ უსწრებს მის მონიტორზე ასახული მონაცემების m რაოდენობას ($n>m$). იდეალურ შემთხვევაში $n=m$, რაც ვერ კმაყოფილდება მფცხ-ების შემთხვევაში, ვინაიდან მფცხ-ების მონიტორები მაღალი ხარისხის არაა, აქვთ დაბალი ხედვის კუთხე, დაბალი კონტრასტულობა, დაბალი სიკაშკაშე და ა.შ. იმისათვის, რომ მომხმარებელმა შეძლოს მფცხ-ს ყველა ფუნქციის შედეგის ნახვა, უნდა ისარგებლოს ხელსაწყოს მენიუში გადაადგილების ღილაკებით.

მომხმარებელს ხელსაწყოს ეკრანზე პარამეტრის აღქმისათვის ესაჭიროება ღილაკზე თითის დაჭერა გადაადგილებისათვის და შემდეგ უშუალოდ აღქმა. ორივე ამ ქმედებას სჭირდება გარკვეული დრო. ამასთან, მხედველობაშია მისაღები მფცხ-ს შიგთავსის (ელექტრონიკის) სწრაფქმედებაც. თუ მფცხ აღჭურვილია მონიტორით, რომელზეც ერთდროულად გამოიტანება მომხმარებლისათვის საჭირო k პარამეტრი, მაშინ ყოველგვარი მენიუში გადაადგილებისა და პარამეტრების ამოწერის გარეშე k პარამეტრის აღქმისთვის დაიხარჯება ბევრად უფრო ნაკლები დრო. ჩვენს მიერ გამოყვანილია ფორმულა, რომლითაც გამოითვლება დროში მოგება. მაგალითად, გამოთვლილია, რომ თუ მფცხ განკუთვნილია 50 ფუნქციის შესასრულებლად, დროში მოგების კოეფიციენტი იქნება დაახლოებით 100.

მფცხ-ის k პარამეტრის ერთდროული ასახვისათვის შემოთავაზებულია ფართოეკრანიანი მონიტორის გამოყენება. უმარტივეს შემთხვევაში

სისტემა მოიცავს ერთ მფცხ-ს, კონტროლერს და მონიტორს. კონტროლერის დანიშნულებაა მფცხ-დან მიიღოს k რაოდენობის პარამეტრი და მოამზადოს ეს ინფორმაცია მონიტორზე გამოტანისათვის. ამ მიზნით ის მფცხ-ს უკავშირდება სამრეწველო ქსელით. შედეგად ვიღებთ მაღალი ერგონომიულობის მქონე ინფორმაციის ასახვის სისტემას (კონტროლერს), რომლის დანიშნულებაა მფცხ-დან k რაოდენობის პარამეტრის ამოკითხვა, მისი გადამუშავება წინასწარ ცნობილი პირობების შესაბამისად, მომზადება მონიტორზე გასატანად და მონიტორზე ასახვა. ჩვენს მიერ დამუშავებულია აღნიშნული სისტემის არქიტექტურა და ფუნქციონირების ალგორითმები.

ნაშრომის მიწურულს მაღალი ერგონომიულობის მქონე ინფორმაციის ასახვის სისტემა (კონტროლერი) დანერგილია ენერგეტიკული ობიექტის მონიტორინგისა და მართვის SCADA სისტემაში. აღწერილია სახეცვლილი SCADA სისტემის არქიტექტურა და ნაჩვენებია დამუშავებული არქიტექტურის მაღალი ერგონომიულობა.

Abstract

Supervisory Control and Data Acquisition (SCADA) is one of the most perspective and basic techniques of automated management of complex, dynamic systems (processes). This technique is useful in the fields, where security and reliability have critical importance. SCADA systems are widely-used in technological processes of any kind of industry. Basically, they are digital systems of monitoring, management, etc.

Measurement of parameters is a complex stage of technological process of production. Besides, measurement of parameters is related to the process of supply of measurement results to the personnel. In the recent period multifunction digital measuring devices are widely-used. They make measuring systems cheaper, but their integrated displays are unacceptable for personnel, because they don't satisfy ergonomic demands. Besides, only one or several electric parameters are displayed simultaneously on the screen of multifunction measuring device. It's also unacceptable for the management of technological process. Therefore, it's important to develop SCADA systems, which use the advantages of digital measuring devices and make them ergonomically acceptable for personnel.

The first chapter of work studies the design of SCADA system (as distributed digital system) operating in real time. Particularly, SCADA system of measurement and representation of hydroelectric power station's electric parameters is studied. The ergonomic issues of SCADA system and its components are studied and the criterions of ergonomic efficiency are established. It must be noted that operator needs technical means of information representation to perceive and generalize any information. Means of visual representation of information, including displays, have one of the most important functions in the activities of human-operator. The main factors are established, which contribute to perception of visual information displayed on the screen.

In the first chapter of work two principles and one condition of multifunctioning are established. If this condition is met, then element of digital system may be considered multifunction.

The second chapter of work studies the multifunction digital measuring devices used in SCADA systems. It's established that such devices have many functional advantages over the traditional digital measuring devices. The disadvantage of multifunction measuring devices is limited quantity of measured parameters displayed on the screen. Besides, functional possibilities of screen don't satisfy the ergonomic demands. Therefore, it's impossible to rely solely on the information displayed on the screen of measuring devices in the systems of control and management of technological process. It's necessary to use modern and more ergonomic means of representation of information, such as modern LCD displays.

Display and video adapter are connected via video interfaces. We have studied modern video interfaces and selected digital interface DVI. Besides, we have studied TMDS protocol of DVI interface. Advantages of digital video interfaces, including DVI interface, over analog video interfaces are shown.

We offer the technique of ergonomic improvement of multifunction digital measuring devices of SCADA systems using modern digital video interface and display. It's established that quantity of functional possibilities ($n > m$) of digital measuring devices is more than m quantity of parameters displayed on the screen ($n > m$). Ideally, $n = m$, but this condition isn't met for the multifunction digital measuring devices, because their screens have low quality, low contrast, low

luminosity, small visual angle, etc. If consumer wants to see all parameters of digital measuring device, he/she must push the buttons of displacement in the menu.

Consumer must push the buttons of displacement and then watch the information to perceive the parameters displayed on the device's screen. Both actions require certain time. Besides, speed of internal electronics of multifunction digital measuring device should be taken into account. If several k parameters are shown simultaneously on the screen of multifunction digital measuring device, then consumer spends much less time to perceive these parameters. In this case consumer doesn't need the buttons of displacement or writing out the parameters. We offer equation to calculate the gain of time. For example, if multifunction digital measuring device has 50 functions, then coefficient of gain of time is over 100.

We use wide-screen display to represent k parameters of multifunction digital measuring device simultaneously. In the simplest case, the system includes one multifunction digital measuring device, controller and display. Controller gets k parameters from multifunction digital measuring device and prepares this information for displaying on the screen. Controller and multifunction digital measuring device are connected via production network. As a result, we get the system (controller) of information representation with better ergonomic characteristics. The system reads k parameters from multifunction digital measuring device, transforms them according to pre-selected conditions, prepares them for displaying on the screen and then displays information on the screen. We have developed the design and algorithms of operation of above-mentioned system.

Finally, the system (controller) of information representation with high ergonomic characteristics is integrated in the SCADA system of monitoring and management of power object. We describe the design of modified SCADA system and show the improved ergonomic characteristics of such design.

შინაარსი

შესავალი	13
თავი 1. ლიტერატურის მიმოხილვა	17
1.1. SCADA სისტემები ტექნოლოგიური პროცესების მართვაში. . .	17
1.2. ჰიდროელექტროსადგურის ელექტრული პარამეტრების გაზომვისა და ასახვის SCADA სისტემა	25
1.3. SCADA სისტემების ერგონომიულობა	28
1.4. მრავალფუნქციურობის პრინციპი	45
თავი 2. შედეგები და მათი განსჯა	53
2.1. მრავალფუნქციური ციფრული გამზომი ხელსაწყოების გამოყენება SCADA სისტემებში	53
2.2. თანამედროვე ვიდეოინტერფეისების კვლევა	63
2.3. SCADA სისტემებში გამოყენებული მრავალფუნქციური ციფრული გამზომი ხელსაწყოების ერგონომიულობის ამაღლების მეთოდი	86
2.4. მაღალი ერგონომიულობის მქონე ინფორმაციის ასახვის სისტემის არქიტექტურა და ფუნქციონირება	92
2.5. მაღალი ერგონომიულობის მქონე ინფორმაციის ასახვის ქვესისტემის გამოყენება ენერგეტიკული ობიექტის მონიტორინგისა და მართვის SCADA სისტემაში	104
დასკვნები	107
გამოყენებული ლიტერატურა	108

ცხრილების ნუსხა

2.1.	RS-422/RS-485 ინტერფეისების ძირითადი პარამეტრები	61
2.2.	კოდირების ალგორითმის განმარტებები	80
2.3.	TMDS არხის დროითი პარამეტრების აღწერილობა	81
2.4.	ფრეიმი (კადრი) MODBUS RTU რეჟიმში	95
2.5.	წამყვანი მოწყობილობის მიერ გაგზავნილი მოთხოვნა	96
2.6.	დაქვემდებარებული მოწყობილობის ნორმალური პასუხი . . .	96

ნახაზების ნუსხა

1.1.	SCADA სისტემების არქიტექტურა	17
1.2.	SCADA სისტემების რეალიზაციის განზოგადებული სქემა	21
1.3.	გენერატორის ელექტრული პარამეტრების გაზომვის და ასახვის SCADA სისტემა	27
1.4.	მრავალფუნქციურობის პირველი პრინციპის საილუსტრაციო სქემა	48
1.5.	მრავალფუნქციურობის მეორე პრინციპის საილუსტრაციო სქემა	51
1.6.	მოწყობილობების ფუნქციონალური შესაძლებლობების პირობითი განაწილება	52
2.1.	RS-232 ინტერფეისის გადაცემის პრინციპი	56
2.2.	RS-485 ინტერფეისის გადაცემის პრინციპი	58
2.3.	RS-422 (ა) და RS-485 (ბ) სალტის მაფორმირებლები	58
2.4.	RS-485 მიმღებ-გადამცემის დაკავშირება მიკროკონტროლერთან	60
2.5.	ციფრულიდან ანალოგურზე და საპირისპირო მიმართულების გარდაქმნა	68
2.6.	მხოლოდ ციფრული ინტერფეისი	69
2.7.	DVI ინტერფეისის ძირითადი კომპონენტები	70
2.8.	TMDS არხის არქიტექტურა	71
2.9.	ერთარხიანი TMDS	73
2.10.	ორარხიანი TMDS	74
2.11.	გადასვლების რაოდენობის მინიმუმამდე დაყვანა	75
2.12.	მეტისმეტად დიდი რაოდენობით გადასვლები	76
2.13.	გადასვლების მინიმუმამდე დაყვანილი რაოდენობა	76
2.14.	მონაცემთა სიტყვებში 1-ების წყების ნიმუში	76
2.15.	საწყისი სიტყვა	77
2.16.	შემთხვევა, როდესაც გადასვლების რაოდენობის მინიმუმამდე დაყვანა აუცილებელი არ არის	77
2.17.	მუდმივი დენის დაბალანსების მაკოდირებული ბიტი	77
2.18.	მონაცემთა სიტყვები დაბალანსებული მუდმივი დენით	77
2.19.	TMDS სიტყვის კოდირების ალგორითმი	79

2.20.	TMDS სიტყვის დეშიფრაციის ალგორითმი	81
2.21.	TMDS არხის დროითი პარამეტრები	82
2.22.	თხევადკრისტალური (LCD) მონიტორი	83
2.23.	LCD მონიტორის ინტერფეისის ელემენტების ურთიერთქმედების გამარტივებული სქემა	84
2.24.	გრაფიკული მონაცემების და სინქროსიგნალების გარდაქმნა მმართველ სიგნალებად	85
2.25.	გრაფიკული მონაცემების და სინქროსიგნალების გარდაქმნა მმართველ სიგნალებად TMDS პროტოკოლის შემთხვევაში	85
2.26.	მფცხ-ების კლასიფიკაცია	87
2.27.	მფცხ ინფორმაციის ციფრული წარმოდგენით	88
2.28.	მფცხ ინფორმაციის კომბინირებული წარმოდგენით	88
2.29.	მფცხ LCD მონიტორით	89
2.30.	მფცხ-დან ინფორმაციის ასახვის სისტემა	91
2.31.	ინფორმაციის ასახვის სისტემის არქიტექტურა	92
2.32.	ინფორმაციის ასახვის კონტროლერის (იაკ-ის) სტრუქტურა	93
2.33.	რეგისტრების გარკვეული რაოდენობის ამოკითხვის ალგორითმი	97
2.34.	RS-485 სიტყვის დეშიფრაციის (არასაინფორმაციო კომპონენტების მოშორების) ალგორითმი	99
2.35.	მონიტორის ეკრანი	100
2.36.	მონიტორზე გამოტანილი გამოსახულების შაბლონი	101
2.37.	RS-485 სიტყვის მონიტორის ეკრანზე გამოტანის ალგორითმი . . .	103
2.38.	მაღალი ერგონომიულობის მქონე ინფორმაციის ასახვის ქვესისტემის გამოყენება ენერგეტიკული ობიექტის მონიტორინგისა და მართვის SCADA სისტემაში.	105

შესავალი

სამუშაოს აქტუალობა. დისპეტჩერული მართვა და მონაცემების შეგროვება (SCADA -Supervisory Control and Data Acquisition)რთული, დინამიური სისტემების (პროცესების) ავტომატიზირებული მართვის ერთ-ერთი ძირითადი და დღესდღეობით ყველაზე პერსპექტიული მეთოდია. ეს მეთოდი სასიცოცხლოდ მნიშვნელოვანია სფეროებში, სადაც უსაფრთხოება და საიმედოობა კრიტიკულად აუცილებელია. დასავლურ ქვეყნებში SCADA-სისტემების საფუძველზე ტექნოლოგიური პროცესების მართვა 80-იანი წლებიდან დაიწყო [1]. დღესდღეობით სწორედ დისპეტჩერული მართვის პრინციპებს ეფუძნება მსხვილი ავტომატიზირებული სისტემები მრეწველობაში, ენერგეტიკაში, სატრანსპორტო, კოსმოსურ და სამხედრო სფეროებში, აგრეთვე სხვადასხვა სახელმწიფო სტრუქტურებში [2].

SCADA-სისტემების კონცეფციის პოპულარიზაციას განაპირობებს ზოგადად მართვის სისტემების განვითარების მიმართულება და სამეცნიერო-ტექნიკური პროგრესი[3]. SCADA-ტექნოლოგია საშუალებას გვაძლევს მივაღწიოთ ავტომატიზაციის მაღალ დონეს, როდესაც მუშავდება მართვისა და ინფორმაციის შეგროვების, დამუშავების, გადაცემის, შენახვისა და ასახვის სისტემა[4].

SCADA-სისტემის მიერ შემოთავაზებული HMI (Human-Machine Interface) ინტერფეისის მეგობრულობა, ეკრანზე გამოსახული ინფორმაციის სისრულე და გასაგებობა, მართვის "ბერკეტების" იოლი ხელმისაწვდომობა, მინიშნებებისა და საცნობარო სისტემის მოხერხებულად გამოყენების შესაძლებლობა ამაღლებს დისპეტჩერისა და სისტემის ურთიერთქმედების ეფექტურობას და მინიმუმამდე დაყავს კრიტიკული შეცდომების რაოდენობა. აქედან გამომდინარე, ნათელი ხდება, რომ ამგვარი სისტემების დამუშავებისას ახალი მიდგომაა საჭირო. ახალი მიდგომა Hardware-Centered ანუ ტექნიკურ საშუალებებზე აქცენტის გაკეთებისმეთოდის

Human-Centered ანუ პირველ რიგში ადამიან-ოპერატორებზე ორიენტირებული მეთოდით ჩანაცვლებას გულისხმობს.

SCADA სისტემები ფართოდ გამოიყენება ნებისმიერი პროფილის წარმოების ტექნოლოგიურ პროცესში. ძირითადად ეს არის მონიტორინგისა და მართვის ციფრული სისტემები და ა.შ. ტექნოლოგიური პროცესის ავტომატიზაციის სისტემებში გამოყენებული გადაწყვეტილების ინტელექტუალიზაციამ, კომინაკაციების, ინფორმაციის ციფრული დამუშავების და კომპიუტერული ტექნოლოგიების განვითარებამ შექმნა SCADA სისტემების როგორც ფართო გამოყენების საფუძველი, ასევე მისი აგებისადმი ახალი მიდგომებისა და მეთოდების დამუშავების აუცილებლობა.

პარამეტრების გაზომვა ერთ-ერთი რთული რგოლია პროდუქციის შექმნის ტექნოლოგიურ პროცესში. ამასთან პარამეტრების გაზომვის პროცესი დაკავშირებულია აგრეთვე გაზომვის შედეგების მიწოდებასთან პერსონალისადმი.

გამზომი სისტემის აგებას ციფრული ინტელექტუალური გადაწყვეტილების გამოყენებით დიდი უპირატესობა გააჩნია ანალოგურ გამზომ სისტემებთან მიმართებაში. ტრადიციულად ასეთი სისტემის აგების დროს ცალკეული პარამეტრის გაზომვისათვის იყენებენ ინდივიდუალურ ციფრულ გამზომ მოწყობილობებს. შედეგად რეალიზებული გამზომი სისტემა მიიღება რთული და ძვირადღირებული.

ბოლო დროს ფართოდ გამოიყენება მრავალფუნქციური გამზომი ციფრული მოწყობილობები, რომლებიც აიაფებენ გაზომ სისტემებს, მაგრამ მათში ინტეგრირებული დისპლეები მიუღებელნი არიან პერსონალისადმი, რადგან ვერ აკმაყოფილებენ ერგონომიულ მოთხოვნებს. გარდა ამისა, მრავალფუნქციური გამზომი ხელსაწყო დისპლეიზე მოცემულ მომენტში აისახება მხოლოდ ერთი ან რამოდენიმე (ხელსაწყოს ტიპიდან გამომდინარე) ელექტრული პარამეტრი, რაც ასევე მიუღებელია ტექნოლოგიური პროცესის მართვისას.

ამდენად დგება ამოცანა ისეთი SCADA სისტემის აგებისა, რომელშიც წარმოჩინებული იქნება ციფრული გამზომი ხელსაწყოების უპირატესობანი და ასევე ერგონომიული თვალსაზრისით მისაღები იქნება მომსახურე პერსონალისათვის. გამოკვლეული უნდა იქნას რეალურ დროში ფუნქციონირებადი SCADA სისტემის არქიტექტურა როგორც განაწილებული ციფრული სისტემა და მონაცემთა ეკრანზე ასახვის ერგონომიული თავისებურებანი. სამუშაოს აქვს SCADA სისტემების აგების როგორც თეორიული, ასევე გამოყენებითი კვლევის ხასიათი.

აქედან გამომდინარე, სადისერტაციო ნაშრომის კვლევის მიზანს წარმოადგენს SCADA სისტემაში მულტიფუნქციური ციფრული გამზომი ხელსაწყოებიდან მიღებული მონაცემების ასახვის ერგონომიულობის გაუმჯობესებისათვის მიდგომების, მეთოდების და ალგორითმების დამუშავება. სადისერტაციო ნაშრომში დასახული ძირითადი მიზნის მიღწევისათვის გადაწყვეტილია შემდეგი ამოცანები:

1. გამოკვლეულია რეალურ დროში ფუნქციონირებადი SCADA სისტემის არქიტექტურა როგორც განაწილებული ციფრული სისტემა და მონაცემთა ეკრანზე ასახვის ერგონომიული თავისებურებანი.
2. გამოკვლეულია SCADA სისტემის მრავალფუნქციური გამზომი ციფრული ხელსაწყოების ფუნქციური შესაძლებლობები პარამეტრების ინდიკატორზე ასახვასთან მიმართებაში.
3. ახალი მიდგომით შემუშავებულია მრავალფუნქციური გამზომი ციფრული ხელსაწყოების მონაცემების მონიტორზე ასახვის სისტემის კონცეფცია.
4. დამუშავებულია ციფრული ხელსაწყოების მონაცემების მონიტორზე ასახვის სისტემის არქიტექტურა.
5. დამუშავებულია სისტემის ფუნქციონირების ალგორითმები.
6. შეფასებულია SCADA სისტემის მონაცემების მონიტორზე ასახვის სისტემის ეფექტურობა.

კვლევის ობიექტები და მეთოდები. კვლევის ობიექტს წარმოადგენს მულტიფუნქციურ ციფრულ გამზომ ხელსაწყოებზე დაყრდნობილი SCADA სისტემების არქიტექტურები და მათი ეფექტურობის მაჩვენებლები.

სამუშაოს სამეცნიერო სიახლეს წარმოადგენს სისტემური ანალიზის საფუძველზე მაღალი ეფექტურობის მქონე SCADA სისტემების ახალი მიდგომებით სინთეზის მეთოდების, მოდელების, არქიტექტურების და ალგორითმების დამუშავება.

სამუშაოში მიღებულია შემდეგი თეორიული შედეგები: დადგენილია SCADA სისტემების ეფექტურობის კრიტერიუმები; დამუშავებულია მაღალი ეროგონომიულობის მქონე SCADA სისტემის მოდელი; დამუშავებულია SCADA სისტემის ეროგონომიულობის გაზრდის მეთოდები, არქიტექტურები და ალგორითმები.

სამუშაოს თეორიული და პრაქტიკული მნიშვნელობა: სამუშაოს თეორიული მნიშვნელობა მდგომარეობს SCADA სისტემების ინტეგრაციის მეთოდების განვითარებაში, რომლებიც საშუალებას იძლევიან ამალდეს SCADA სისტემების ეფექტურობა ეროგონომიულობის კუთხით. SCADA სისტემების დამუშავებული არქიტექტურები და ალგორითმები შესაძლებელია გამოყენებული იქნან სხვადასხვა დანიშნულების, განსაკუთრებით კი ტექნოლოგიური პროცესების მონიტორინგისა და მართვის SCADA სისტემების სინთეზისათვის.

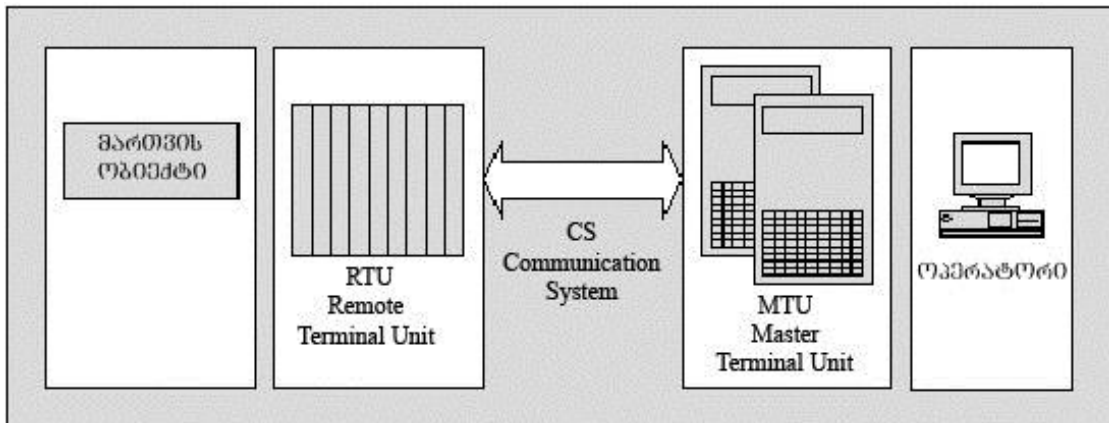
სამუშაოს აპრობაცია: დისერტაციასთან დაკავშირებული საკითხები წარმოდგენილი ასახულია 4 სამეცნიერო პუბლიკაციაში და განხილული იქნა სამეცნიერო-ტექნიკურ კონფერენციებზე "ვერბალური კომუნიკაციური ტექნოლოგიები" და "Nanosensory Systems and Nanomaterials".

თავი 1. ლიტერატურის მიმოხილვა

1.1. SCADA სისტემები ტექნოლოგიური პროცესების მართვაში

SCADA არის დაშორებული წერტილებიდან (ობიექტებიდან) ინფორმაციის რეალურ დროში შეგროვების პროცესი, რომლის მიზანია დაცილებული ობიექტებიდან მიღებული მონაცემების მიღება, დამუშავება, ანალიზი და ხშირ შემთხვევაში ამ ობიექტების მართვა [5]. რეალურ დროში ინფორმაციის დამუშავება აუცილებელია, რათა ყველა საჭირო მოვლენა (შეტყობინება) და მონაცემი ოპერატორის (დისპეტჩერის) ცენტრალურ ინტერფეისში მოხვდეს.

ყველა თანამედროვე SCADA-სისტემა სამ ძირითად სტრუქტურულ კომპონენტს შეიცავს (ნახ. 1.1):



ნახ. 1.1. SCADA-სისტემების არქიტექტურა

I) Remote Terminal Unit (RTU) - RTU-ს კონკრეტული რეალიზაცია გამოყენების სფეროზეა დამოკიდებული. RTU შეიძლება იყოს სპეციალიზირებული კომპიუტერები, მათ შორის მულტიპროცესორული სისტემები, ჩვეულებრივი მიკროკომპიუტერები ან პერსონალური კომპიუტერები. სამრეწველო და სატრანსპორტო სისტემებისთვის ორი კონკურენტული მიმართულება არსებობს: სამრეწველო პერსონალური კომპიუტერები და პროგრამირებადი ლოგიკური კონტროლერები (PLC).

სამრეწველო კომპიუტერები, როგორც წესი, ჩვეულებრივ პერსონალურ კომპიუტერებთან პროგრამულად თავსებადია, თუმცა ექსპლუატაციის მკაცრ პირობებთან არის მისადაგებული და ქარხნებში, საამქროებში და ა.შ. მონტაჟდება. ასეთი კომპიუტერები ადაპტირებულია არამხოლოდ კონსტრუქციული თვალსაზრისით, არამედ არქიტექტურულად და სქემოტექნიკურად, ვინაიდან გარემოს ტემპერატურის ცვლილებები ელექტრული პარამეტრების ცვლილებებს იწვევს. მსგავსი სისტემები დამატებითი პლატა-ადაპტერებით კომპლექტდება. ადაპტერების მწარმოებელი სხვადასხვაა. სამრეწველო კომპიუტერების ოპერაციულ სისტემად სულ უფრო ხშირად გამოიყენება Windows XP/7 და რეალური დროის სხვადასხვა გამოყენებითი პროგრამები, რომლებიც სპეციალურად ამ ოპერაციული სისტემისთვის არიან შემუშავებულნი.

სამრეწველო კონტროლერები (PLC) სპეციალიზირებული გამომთვლელი მოწყობილობებია, რომელთა დანიშნულება პროცესების (ობიექტების) რეალურ დროში მართვაა. სამრეწველო კონტროლერებს გამომთვლელი ბირთვი და შეყვანა-გამოყვანის მოდულები აქვს. ისინი გადამწოდებიდან, გარდამქმნელებიდან, სხვა მოწყობილობებიდან და კონტროლერებიდან იღებენ ინფორმაციას, მმართველ სიგნალებს ამძრავებს, სარქველებს, გადამრთველებს და სხვა შემსრულებელ მოწყობილობებს გადასცემენ და შესაბამისად პროცესს, ან ობიექტს მართავენ. თანამედროვე PLC-ები ქსელში უმეტესად RS-485, Ethernet, სამრეწველო სალტების სხვადასხვა ნაირსახეობებით ერთიანდება, ხოლო პროგრამული საშუალებები ოპერატორისთვის მოსახერხებელი ფორმით მათი დაპროგრამების და მართვის საშუალებას იძლევა. დაპროგრამება და მართვა კომპიუტერით სრულდება, რომელიც მართვის სადისპეტჩერო პუნქტში მდებარეობს [6].

PC და PLC კონკურენტული მიმართულებების კვლევას დიდი დრო ეთმობა და უამრავი მასალა არსებობს. ავტორებს თითოეული მიმართულების საწინააღმდეგო და მხარდამჭერი არგუმენტები მოჰყავთ. ამავდროულად უნდა ითქვას, რომ იქ, სადაც საიმედოობა და მკაცრ რეალურ

დროში მართვას საჭირო, PLC უფრო ხშირად გამოიყენება [7]. პირველ რიგში აქ იგულისხმება სასიცოცხლოდ მნიშვნელოვანი სისტემები, მაგალითად, წყალმომარაგება, ელექტრომომარაგება, სატრანსპორტო სისტემები, ენერგეტიკული და სხვაგვარი საწარმოები, რომლებიც ეკოლოგიურ საფრთხეებს ექმნიან. PLC-ს აპარატურული საშუალებები მრავალჯერადი რეზერვირების პრინციპს ეფუძნება და მტყუნებამდეგი სისტემების შექმნის საშუალებას იძლევა. სამრეწველო PC-ები ძირითადად ნაკლებად კრიტიკულ სფეროებში გამოიყენება (მაგალითად, ავტომობილების წარმოებაში), თუმცა უფრო საპასუხისმგებლო სფეროებში გამოყენების მაგალითებიც გვხვდება. ექსპერტების შეფასებით, სისტემების PLC საფუძველზე აგება შედარებით იაფი ჯდება.

II) Master Terminal Unit (MTU), Master Station (MS). ეს არის მართვის სადისპეტჩერო პუნქტი (მთავარი ტერმინალი), რომელიც მონაცემებს მაღალ დონეზე ამუშავებს და მართავს და როგორც წესი, მსუბუქ (კვაზირეალურ) დროით რეჟიმში მუშაობს. მისი ერთ-ერთი უმთავრესი ფუნქციაა ადამიან-ოპერატორსა და სისტემას შორის ინტერფეისის უზრუნველყოფა. MTU-ს განვითარების მთავარი ტენდენცია SCADA-სისტემების კლიენტი-სერვერი არქიტექტურაზე გადასვლაა. ეს არქიტექტურა ოთხი ფუნქციონალური კომპონენტისგან შედგება:

- 1) User (Operator) Interface (მომხმარებლის/ოპერატორის ინტერფეისი). ეს კომპონენტი SCADA სისტემაში ძალიან მნიშვნელოვანია. მისთვის დამახასიათებელია: ა) მომხმარებლის ინტერფეისის სტანდარტიზაცია რამდენიმე პლატფორმის გარშემო; ბ) Windows-ის სულ უფრო დიდი ზეგავლენა; გ) მომხმარებლის სტანდარტული გრაფიკული ინტერფეისის (GUI) გამოყენება; დ) ობიექტზე ორიენტირებული პროგრამული ტექნოლოგიების გამოყენება (DDE, OLE, Active X, OPC, DCOM); ე) Visual Basic for Applications (VBA), Visual C++ და ა.შ. სტანდარტული პროგრამული უზრუნველყოფის საშუალებების გამოყენება; ვ) SCADA/MMI კლასის პროგრამული უზრუნველყოფის კომერციული

ვარიანტების გამოყენება. ამ შემთხვევაში მომხმარებლის ინტერფეისი ობიექტურად დამოკიდებულია, რის შედეგად მას სხვა სისტემების მიერ შექმნილი ვირტუალური ობიექტების წარმოდგენა შეუძლია.

- 2) Data Management (მონაცემების მართვა). ეს არის ვიწროდ სპეციფიკირებული მონაცემთა ბაზიდან მონაცემთა რელაციურ, კორპორაციულ ბაზებზე (Microsoft SQL, Oracle) გადასვლა. მონაცემების მართვის ფუნქციები და ანგარიშების გენერაცია სტანდარტული SQL, 4GL საშუალებებით ხორციელდება. მონაცემების დამოუკიდებლობა მონაცემებთან დაშვების და მართვის ფუნქციების იზოლირებას ახდენს და შედეგად დამატებითი დანართების დამუშავება მარტივდება.
- 3) Networking & Services (ქსელები და სერვისები). ეს არის სტანდარტულ ქსელურ ტექნოლოგიებზე და პროტოკოლებზე გადასვლა. ქსელის მართვის, დაცვის, დაშვების, ტრანზაქციების მონიტორინგის, საფოსტო შეტყობინებების გადაცემის, ხელმისაწვდომი რესურსების (პროცესების) სკანირების სერვისები სხვა ვენდორის მიერ დამუშავებული სამიზნე პროგრამული კოდისგან დამოუკიდებლად სრულდება.
- 4) Real-Time Services (რეალური დროის სერვისები). ეს არის MTU-ს გათავისუფლება ზემოთ ჩამოთვლილი კომპონენტებისგან, რაც წარმადობაზე კონცენტრაციის საშუალებას იძლევა და რეალური და კვაზირეალური დროის ამოცანები შესრულებაში უწყობს ხელს. მოცემული სერვისები სწრაფქმედი პროცესორებია. ისინი RTU-სთან ინფორმაციის გაცვლას და SCADA პროცესებს მართავენ, მონაცემების ბაზის რეზიდენტულ ნაწილს განკარგავენ, მოვლენებზე შეტყობინებას იძლევიან, სისტემის მმართველ მოქმედებებს ასრულებენ და მოვლენების შესახებ ინფორმაციას მომხმარებლის (ოპერატორის) ინტერფეისით გადასცემენ.

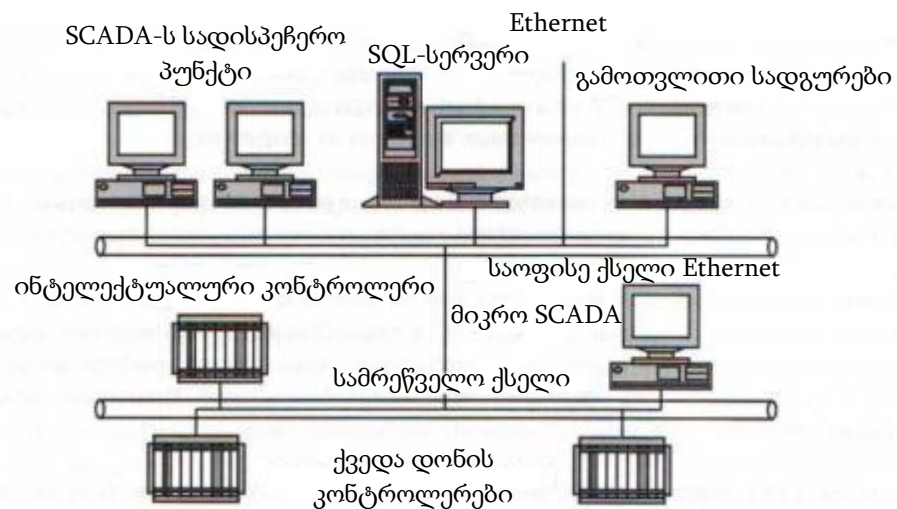
III) Communication System (CS). თანამედროვე დისპეტჩერული სისტემების კავშირის არხები დიდი მრავალფეროვნებით გამოირჩევა. არჩევანი სისტემის არქიტექტურის, სადისპეტჩერო პუნქტსა და RTU-ს შორის

მანძილის, კონტროლირებადი წერტილების რაოდენობის, გამტარუნარიანობის მოთხოვნის და არხის საიმედოობის საფუძველზე უნდა გაკეთდეს.

SCADA-სისტემებში კავშირის სხვადასხვა გამოყოფილი არხები (ISDN, ATM) გამოიყენება. ასევე ხშირად გამოიყენება კორპორატიული კომპიუტერული ქსელები და სპეციალიზირებული სამრეწველო სალტეები.

თანამედროვე სამრეწველო, ენერგეტიკულ და სატრანსპორტო სისტემებში ძალიან პოპულარულია სამრეწველო სალტეები და კავშირის სპეციალიზირებული სწრაფი არხები [8]. მათი მეშვეობით ავტომატიზაციის სხვადასხვა იერარქიულ დონეზე საიმედოობის და მტყუნებამდეგობის პრობლემა ეფექტურად იჭრება.

კონტროლისა და მართვის ავტომატიზირებული სისტემების მრავალ პროექტზე დაყრდნობით შეგვიძლია გამოვყოთ ამგვარის სისტემების რეალიზაციის განზოგადებული სქემა (ნახ. 1.2.):



ნახ. 1.2. SCADA სისტემების რეალიზაციის განზოგადებული სქემა

SCADA სისტემები, როგორც წესი, ორდონიანი და სწორედ ამ დონეებზე ხდება უმუალოდ ტექნოლოგიური პროცესების მართვა. სისტემის სპეციფიკა დამოკიდებულია თითოეულ დონეზე გამოყენებულ პროგრამულ-აპარატურულ პლატფორმაზე.

სისტემის ქვედა დონე ობიექტის (კონტროლერის) დონეა. ის მოიცავს სხვადასხვა სახის გადამწოდებს ტექნოლოგიური პროცესის მიმდინარეობაზე ინფორმაციის შეგროვებისთვის; ელექტროამძრავებს და შემსრულებელ მექანიზმებს მარეგულირებელი და მმართველი ზემოქმედების მიზნით. გადამწოდები ინფორმაციას აწვდიან ადგილობრივ პროგრამირებად ლოგიკურ კონტროლერებს (PLC-ებს), რომლებიც ასრულებენ შემდეგ ფუნქციებს:

- აგროვებენ და ამუშავებენ ინფორმაციას ტექნოლოგიური პროცესის პარამეტრების შესახებ;
- მართავენ ელექტროამძრავებს და სხვა შემსრულებელ მექანიზმებს;
- წყვეტენავტომატიზირებული ლოგიკური მართვის ამოცანებს და ა.შ.

კონტროლერები წინასწარ ამუშავებენ ინფორმაციას და ზოგჯერ ადგილზეც იყენებენ მას, რის გამოც კავშირის არხების გამტარუნარიანობისადმი წაყენებული მოთხოვნები მცირდება. აქვე აღსანიშნავია, რომ პროგრამირებადი ლოგიკური კონტროლერები გარანტირებულად უნდა რეაგირებდნენ მართვის ობიექტიდან მოსულ ინფორმაციაზე თითოეული მოვლენისთვის მკაცრად განსაზღვრულ დროში. ამ თვალსაზრისით რეკომენდირებულია პროგრამირებადი ლოგიკური კონტროლერების გამოყენება რეალური დროის ოპერაციული სისტემების (OPCB-ების) თანხლებით, რადგან კონტროლერი სწორედ OPCB-ის წყალობით ფუნქციონირებს მკაცრად რეალურ დროში.

ადგილობრივი კონტროლერებიდან წამოსული ინფორმაცია ზედა დონის კონტროლერების გავლით ან უშუალოდ ხვდება სადისპეჩერო პუნქტის ქსელში. ზედა დონის კონტროლერები (კონცენტრატორები, ინტელექტუალური ან საკომუნიკაციო კონტროლერები) სხვადასხვა ფუნქციებს ასრულებენ და მათ შორის არის:

- ინფორმაციის შეგროვება ადგილობრივი კონტროლერებიდან;
- ინფორმაციის დამუშავება და მათ შორის მასშტაბირება;
- სისტემაში ერთიანი დროის შენარჩუნება;

- ქვესისტემების მუშაობის სინქრონიზაცია;
- შერჩეულ პარამეტრების არქივების ორგანიზაცია;
- ადგილობრივ კონტროლერებსა და ზედა დონეს შორის ინფორმაციის გაცვლა;
- ზედა დონესთან კავშირის გაწყვეტის შემთხვევაში ავტონომიურ რეჟიმში მუშაობა;
- მონაცემების გადაცემის არხების დარეზერვება და ა.შ.

SCADA სისტემის ზედა დონე - სადისპეტჩერო პუნქტი მოიცავს მართვის რამდენიმე სადგურს. ეს გახლავთ დისპეტჩერის/ოპერატორის ავტომატიზირებული სამუშაო ადგილი. ამავე დონეზე გვხვდება მონაცემთა ბაზის სერვერები, სპეციალისტების სამუშაო ადგილები (კომპიუტერები) და ა.შ. მართვის სადგურების დანიშნულებაა ტექნოლოგიური პროცესის და ოპერატიული მართვის მიმდინარეობის ასახვა.

თანამედროვე დისპეტჩერულ სისტემებში და მათ შორის SCADA სისტემებში მართვის პროცესის თავისებურებებია [9]:

- SCADA პროცესი გამოიყენება სისტემებში, სადაც აუცილებელია ადამიანის (ოპერატორის, დისპეტჩერის) ყოფნა;
- SCADA პროცესი დამუშავებულია სისტემებისთვის, რომლებშიც ნებისმიერმა არასწორმა მოქმედებამ მართვის ობიექტის მტყუნება (დაკარგვა), ზოგიერთ შემთხვევაში კი კატასტროფული შედეგები შეიძლება გამოიწვიოს;
- ოპერატორი პასუხისმგებელია მხოლოდსისტემის ზოგადად მართვაზე. ჩვეულებრივ პირობებში სისტემა ოპტიმალური წარმადობისთვის პარამეტრების სპეციალურ დაყენებას იშვიათად საჭიროებს;
- ოპერატორი მართვის პროცესში აქტიურად იშვიათად და არაპროგნოზირებად მომენტებში მონაწილეობს, როდესაც კრიტიკული მდგომარეობა იქმნება (მტყუნება, არასაშტატო სიტუაციები და სხვ.).

- ოპერატორის მოქმედება კრიტიკულ სიტუაციებში ხშირად დროში მკაცრად შეზღუდულია (მოქმედების დრო შეიძლება რამდენიმე წუთი, ან სულაც წამი იყოს).

SCADA სისტემებს წაეყენება შემდეგი ძირითადი მოთხოვნები [10]:

- საიმედოობა (ტექნოლოგიური და ფუნქციონალური);
- მართვის უსაფრთხოება;
- მონაცემების დამუშავების და წარმოდგენის სიზუსტე;
- სისტემის გაფართოების სიმარტივე;

უსაფრთხოების და საიმედოობის მოთხოვნები მოიცავს:

- მოწყობილობის ერთჯერადმა მტყუნებამ არ უნდა გამოიწვიოს მართვის ობიექტზე ცრუ გამომავალი სიგნალის (ბრძანების) გაცემა;
- ოპერატორის ერთჯერადმა შეცდომამ არ უნდა გამოიწვიოს მართვის ობიექტზე ცრუ გამომავალი სიგნალის (ბრძანების) გაცემა;
- მართვის ყველა ოპერაცია ოპერატორისთვის (დისპეტჩერისთვის) ინტუიციურად გასაგები და მოსახერხებელი უნდა იყოს.

არსებული წყაროების თანახმად, SCADA სისტემები გამოიყენება შემდეგ ძირითად სფეროებში [11]:

- ელექტროენერჯის გადაცემის და განაწილების მართვა;
- სამრეწველო წარმოება [12];
- ელექტროენერჯის წარმოება;
- წყლის აღება, წყლის გაწმენდა და წყლის განაწილება;
- ნავთობის და გაზის მოპოვება, ტრანსპორტირება და განაწილება;
- კოსმოსური ობიექტების მართვა;
- ნებისმიერი სახის ტრანსპორტის მართვა [13];
- ტელეკომუნიკაციები;
- სამხედრო სფერო.

1.2. ჰიდროელექტროსადგურის ელექტრული პარამეტრების გაზომვისა და ასახვის SCADA სისტემა

ჩვენს მიერ გამოკვლეულია რეალურ დროში ფუნქციონირებადი SCADA სისტემა, კერძოდ ჟინვალჰესზე მოქმედი და გენერატორის ელექტრული პარამეტრების გაზომვის და ასახვის სისტემა, რომლის დანიშნულება შემდეგში მდგომარეობს:

- გენერატორის ელექტრული პარამეტრების გაზომვა;
- გაზომილი ძირითადი პარამეტრების ასახვა სამანქანო დარბაზში და მართვის ფარზე;
- გაზომილი პარამეტრების ასახვა ციფრული და ანალოგური სახით;
- გაზომილი პარამეტრების რეალურ დროში დაგროვება მონაცემთა ბაზაში და არქივირება;
- მონაცემთა ბაზაში დაგროვილი პარამეტრების რანჟირება და დამუშავება ცხრილების და გრაფიკების სახით.

აღნიშნული სისტემა, ძველი ანალოგური სისტემისგან განსხვავებით, ეფუძნება თანამედროვე ციფრულ ტექნოლოგიებს და აქვს შემდეგი უპირატესობები:

- ძირითადი ელექტრული პარამეტრების გაზომვა ხდება უნივერსალური ციფრული ხელსაწყოთა გამოყენებით, რაც მნიშვნელოვნად ამცირებს გამზომი ხელსაწყოების რაოდენობას, რის შედეგადაც იზრდება გამზომი კვანძის საიმედოობა;
- უნივერსალური ციფრული გამზომი ხელსაწყოთა ფუნქციური შესაძლებლობები გაცილებით მაღალია ანალოგურ გამზომ ხელსაწყოებთან შედარებით;
- გაზომილი პარამეტრის გადაცემა სამანქანო დარბაზიდან მართვის ფარზე ხდება ციფრულ ფორმაში და აქედან გამომდინარე, გადაცემის მომენტში არ ხდება სიზუსტის დაკარგვა;

- მართვის ფარზე და სამანქანო დარბაზში ასახული მონაცემებისთვის პარამეტრის სიდიდის წყარო არის ერთი და იგივე გამზომი ხელსაწყო. აქედან გამომდინარე, ასახულ მონაცემსა და სამანქანო დარბაზში ასახულ იგივე მონაცემს შორის სხვაობა აღარ წარმოიშვება;
- პარამეტრის ასახვა ხდება როგორც ანალოგურ, ასევე ციფრულ ფორმაში, რის გამოც მისი აღქმა ცალსახაა;
- მონაცემების დაგროვება ხდება კომპიუტერის მონაცემთა ბაზაში და ხდება მისი არქივირება;
- გაზომილი და დაგროვილი მონაცემები წარმოდგინდება როგორც ცხრილების, ასევე გრაფიკების სახით.

სისტემა შედგება (ნახ. 1.3.) საინჟინრო სადგურისგან და აგრეგატების ოთხი გამზომი სისტემისგან. საინჟინრო სადგური განთავსებულია მართვის ფართან ტერიტორიულად ახლოს. საინჟინრო სადგური წარმოდგენილია პერსონალური კომპიუტერით და ორი პროგრამული პაკეტით.

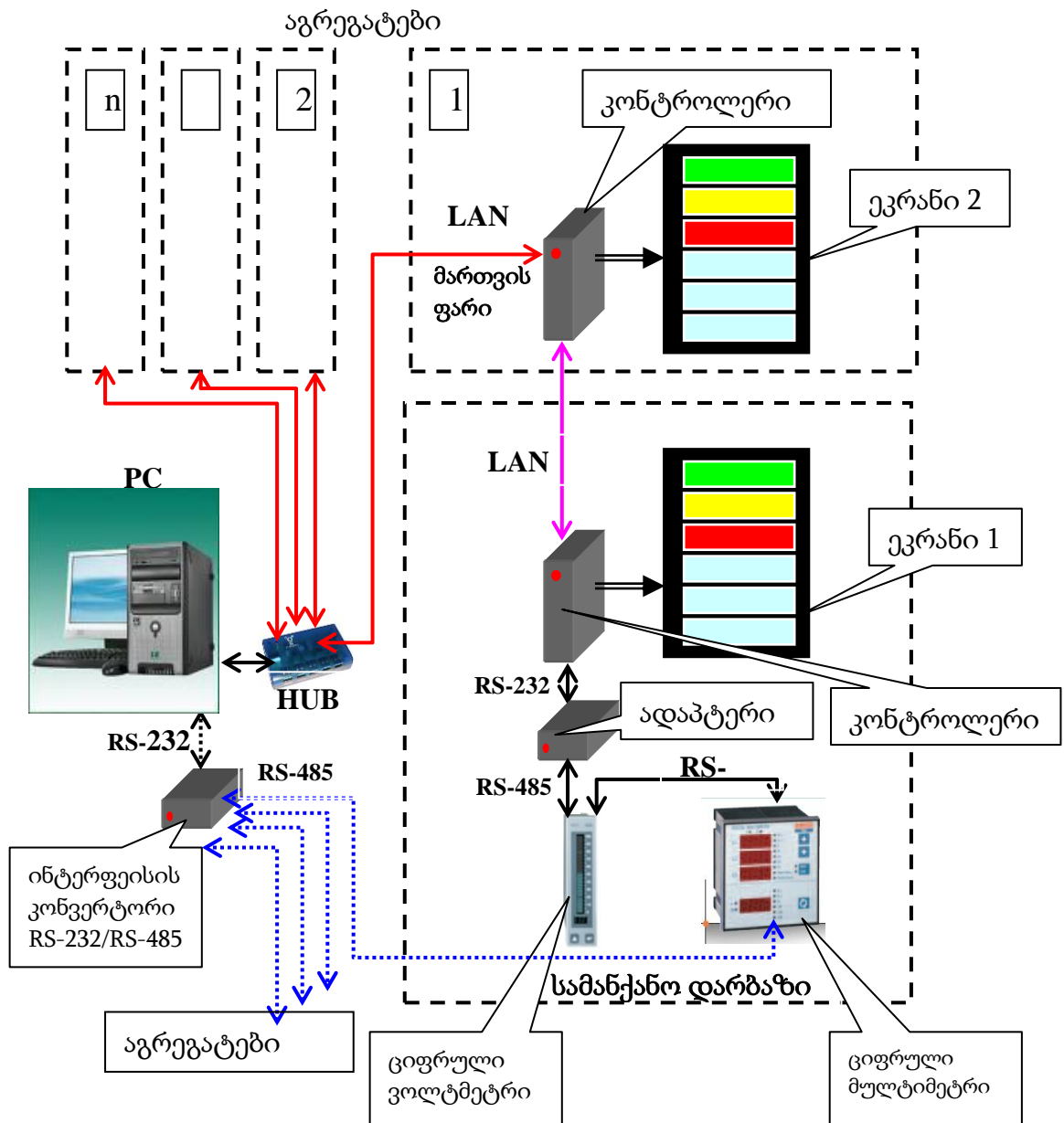
აგრეგატის სისტემა შედგება მართვის ფარისა და სამანქანო დარბაზის ქვესისტემებისგან. მართვის ფარის ქვესისტემა შედგება კონტროლერი 2-ისა და ეკრანი 2-ისგან. სამანქანო დარბაზის ქვესისტემა მოიცავს კონტროლერ 1-ს, ეკრან 1-ს, ციფრულ მულტიმეტრს, ციფრულ ამპერმეტრს და კონტროლერ 1-ისა და გამზომი ხელსაწყოების კავშირის ადაპტერს.

ორივე კონტროლერი წარმოადგენს ციფრულ მოწყობილობას, რომელიც აგებულია Intel-ის პროცესორის ბაზაზე, გააჩნია მიმდევრობითი პორტი და ოპერაციული სისტემა. გარდა ამისა, კონტროლერები ქმნიან ლოკალურ კომპიუტერულ ქსელს.

საინჟინრო სადგური და ცალკეული აგრეგატების მართვის ფარის ქვესისტემების კონტროლერები თავის მხრივ გაერთიანებულია დამოუკიდებელ ლოკალურ ქსელში.

საინჟინრო სადგური დამატებით აღჭურვილია ინტერფეისის კონვერტორით RS-232/RS-485, რომელიც განკუთვნილია ციფრულ მულტიმეტრთან პირდაპირი კავშირისთვის. ეს არხი გამოიყენება ქსელს 230-მდე

პარამეტრის ანალიზისთვის. ამ მიზნით საინჟინრო სადგური მოიცავს სპეციალურ პროგრამულ გარსს. ეს არხი მიუერთდება კონვერტორს და მულტიმეტრს საჭიროების შემთხვევაში.



ნახ. 1.3. გენერატორის ელექტრული პარამეტრების გაზომვის და ასახვის SCADA სისტემა

კონტროლერები უკავშირდებიან შესაბამის ეკრანებს, რომლებიც ფუნქციონალურად წარმოადგენენ მონიტორებს. მათზე ელექტრული პარამეტრები აისახება როგორც ციფრული, ასევე ანალოგური სახით.

ეკრანებზე ასახული ციფრული და ანალოგური მნიშვნელობები მსხვილი მასშტაბისაა და განკუთვნილია მომხმარებლის მიერ შორი მანძილიდან აღქმისთვის.

სისტემა მუშაობს 24-საათიან რეჟიმში. კონტროლერი 2 მუდმივად წამოიღებს ელექტრულ მონაცემებს ციფრული მულტიმეტრიდან და ამპერმეტრიდან და ასახავს ეკრანზე. იგივე მონაცემებს იგი ლოკალური ქსელით გადასცემს კონტროლერ 1-ს და პერსონალურ კომპიუტერს. კომპიუტერში ხდება მონაცემების დაგროვება და რანჟირება სხვადასხვა ჭრილში.

1.3. SCADA სისტემების ერგონომიულობა

ერგონომიკა სამეცნიერო დისციპლინაა, რომელიც კომპლექსურად შეისწავლის ადამიანს (ადამიანთა ჯგუფს) მექანიზმების (ტექნიკური საშუალებების) გამოყენებასთან დაკავშირებული საქმიანობის კონკრეტულ პირობებში [14]. ერგონომიკაში ადამიანი, მანქანა და გარემო რთული, ფუნქციონირებადი, ერთიანი სხეულია, რომელშიც წამყვან ფუნქციას ასრულებს ადამიანი. ერგონომიკა ერთდროულად სამეცნიერო და პროექტირებისთვის განკუთვნილი დისციპლინაა, რადგან მის ამოცანებში შედის ადამიანური ფაქტორების გათვალისწინების მეთოდების დამუშავება, როდესაც ხდება არსებული ტექნიკის მოდერნიზაცია ან ახალი ტექნიკის თუ ტექნოლოგიების შემუშავება.

"ადამიანი-მანქანა" სისტემებით დაინტერესებამ მე-20 საუკუნის შუა პერიოდიდან იმატა, რაც განაპირობა იმ ფაქტმა, რომ ტექნიკური პროექტირების და კონსტრუირების ობიექტი სულ უფრო ხშირად ხდებოდა სხვადასხვა სახეობის მართვის სისტემები. აქ საუბარია მართვის სისტემებზე, რომლებიც გამოიყენება წარმოებაში, სატრანსპორტო სფეროში, კავშირგაბმულობაში, კოსმოსურ ფრენებში და ა.შ. ამგვარი მართვის

სისტემების ეფექტურობა დიდწილად დამოკიდებულია მათი წამყვანი რგოლის ანუ ადამიანის საქმიანობაზე. ადამიანის და მანქანის შესაძლებლობების გაერთიანება მართვის ეფექტურობას მნიშვნელოვნად ამაღლებს [15]. ადამიანი და მანქანა მართვის ფუნქციებს ერთობლივად ასრულებენ, მაგრამ ამ რთული სისტემის ორივე ძირითადი რგოლი მხოლოდ მისთვის დამახასიათებელ კანონზომიერებებს ექვემდებარება. სისტემის ეფექტურობა დამოკიდებულია იმაზე, თუ რამდენად იქნა გამოვლენილი და გათვალისწინებული მისი შექმნის პროცესში ადამიანისა და მანქანის დამახასიათებელი თვისებები, შეზღუდვები და პოტენციური შესაძლებლობები.

ერგონომიკა ადამიანურ და ტექნიკურ ასპექტებს ერთდროულად განიხილავს. აღნიშნული დარგი არსებობს და წარმატებებს აღწევს ფსიქოლოგიის, ფიზიოლოგიის, შრომის ჰიგიენისა და ანატომიის დახმარებით. მისი პრაქტიკული ღირებულება განისაზღვრება იმით, თუ რამდენად არის სინთეზირებული ადამიანური და ტექნიკური ასპექტები. უფრო მეტიც, ერგონომიკა ცდილობს გამოავლინოს ამგვარი სინთეზის კანონზომიერებები. ერგონომიკის თანხმლები პრობლემების გადაჭრა ორი მიმართულებით მიმდინარეობს: ადამიანის მოთხოვნების დაკმაყოფილება ტექნიკის მიმართ და ტექნიკის მოთხოვნების დაკმაყოფილება ადამიანის მიმართ. ორივე მიმართულება ერთმანეთთან არის დაკავშირებული, ხოლო პრობლემების დაძლევის ოპტიმალური მეთოდი სადღაც შუაშია. ოპტიმალური გადაწყვეტილებების მისაღებად ფსიქოლოგიის, ფიზიოლოგიის, შრომის ჰიგიენისა თუ ანთროპომეტრიის ცალკეული რეკომენდაციების გათვალისწინება საკმარისი არ არის. აუცილებელია ამ რეკომენდაციების შეთანხმება, სუბორდინაცია და გაერთიანება კონკრეტული საქმიანობის გათვალისწინებით [16]. ჩვენთვის მნიშვნელოვანია ვიცოდეთ არა მხოლოდ ადამიანის აღქმის, აზროვნებისა და მოქმედების ცალკეული ფუნქციონალური შესაძლებლობები, არამედ ვიცოდეთ, თუ როგორ მოქმედებს ადამიანი მთლიანობაში. გარდა ამისა, აუცილებელია გავითვალის-

წინოთ ყველა ფაქტორი, რაზეც დამოკიდებულია ადამიანის წარმატებული საქმიანობა.

ტექნიკის ერგონომიულობა განზოგადებული მახასიათებელია, რომელიც სხვადასხვა მახასიათებლების იერარქიულ სტრუქტურას აგვირგვინებს. აღნიშნული განზოგადებული მახასიათებელი ტექნიკის სხვადასხვა ერგონომიული თვისებებიდან გამომდინარეობს, როგორც არის მართვადობა, მომსახურებადობა, გათავისებადობა და ყოფნადობა. პირველი სამი განსაზღვრავს, თუ რამდენად ორგანულად არის ჩანერგილი ტექნიკა ადამიანის ან ადამიანთა ჯგუფის საქმიანობის შესაბამის სფეროში, ხოლო ბოლო თვისება მიუთითებს, რამდენად მიახლოებულია სამუშაო გარემოს პარამეტრები ოპტიმალურ ბიოლოგიურ ნიშნულთან ანუ რამდენად არის უზრუნველყოფილი ადამიანის ნორმალური განვითარება, ჯანმრთელობის დაცვა და შრომისუნარიანობის შენარჩუნება. ტექნიკის თითოეული ერგონომიული თვისება თავის მხრივ გამომდინარეობს უამრავი კომპლექსური მაჩვენებლიდან, ხოლო კომპლექსური მაჩვენებლები ფორმირდება ცალკეული მაჩვენებლების საფუძველზე, როგორც არის სოციალურ-ფსიქოლოგიური, ფიზიოლოგიური, ფსიქოლოგიური, ფსიქო-ფიზიოლოგიური, ანთროპომეტრული და ჰიგიენური მაჩვენებლები. აღწერილი იერარქიული სტრუქტურა აერთიანებს სხვადასხვა ერგონომიულ მაჩვენებლებს.

ერგონომიკის კვლევის მთავარი ობიექტი არის "ადამიანი-მანქანა" სისტემა. ის სწავლობს ამ სისტემისგანსაზღვრულ თვისებებს, რომელთაც ადამიანური ფაქტორები ეწოდებათ. ადამიანური ფაქტორები ადამიანისა და მანქანის (ტექნიკური საშუალებების) ურთიერთკავშირისთვის დამახასიათებელი თვისებებია, რომლებიც სისტემის ფუნქციონირების კონკრეტულ გარემოებებში ვლინდებიან და გავლენას ახდენენ კონკრეტული მიზნების მიღწევაზე. ადამიანური ფაქტორი არ შეიძლება იყოს მხოლოდ ადამიანის, მანქანის (ტექნიკური საშუალების) ან გარემოს დამახასიათებელი თვისება. ეს გახლავთ გარემოსთვის დამახასიათებელი ბუნებრივი

თვისებების, მანქანისთვის დამახასიათებელი არსებითი თვისებების და ადამიანისთვის დამახასიათებელი ფუნქციონალური (და მათ შორის სოციალური) თვისებების ერთობლიობა. ერგონომიკას აინტერესებს არა ადამიანის, მანქანის ან გარემოს ყველა თვისება, არამედ მხოლოდ ის თვისებები, რომლებიც განპირობებულია ადამიანის ფუნქციით "ადამიანი-მანქანა" სისტემის ფარგლებში. ეს არ ნიშნავს, რომ ერგონომიკისთვის საინტერესო თვისებების რაოდენობა მცირეა. აქედან გამომდინარე, ადამიანის საქმიანობის ოპტიმიზაციისა და "ადამიანი-მანქანა" სისტემის ეფექტურობის უზრუნველყოფის მიზნით საკმარისი არ არის ცალკეული დარგების კომპეტენციები. აქ საუბარია დარგებზე, რომლებიც სწავლობენ შრომითი საქმიანობის სხვადასხვა ასპექტებს [17].

ერგონომიკა უზრუნველყოფს "ადამიანი-მანქანა" სისტემის კომპონენტებს შორის ფუნქციონალური კავშირების აუცილებელი და საკმარისი ნომენკლატურის დადგენას, ვინაიდან მხოლოდ ამ შემთხვევაში იქნება სისტემა საკმარისად ეფექტური და დააკმაყოფილებს გარკვეულ კრიტერიუმებს. ერგონომიკა არა მხოლოდ იყენებს შესაბამისი დარგების მეშვეობით გამოვლენილ პირველად თვისებებსა თუ მაჩვენებლებს (იქნება ეს ჰიგიენური, ფიზიოლოგიური, ფსიქოლოგიური, სოციალურ-ფსიქოლოგიური, ტექნიკური, ეკოლოგიური და სხვ.), არამედ აერთიანებს მათ სისტემურ თვისებებად და ადგენს ფუნქციონალური კავშირების აუცილებელ რაოდენობას.

ადამიანური ფაქტორები, როგორც "ადამიანი-მანქანა" სისტემის უმნიშვნელოვანესი თვისებები, საწყისი მახასიათებლების სუპერპოზიციას ქმნიან და წარმოადგენენ აღნიშნული სისტემის კომპონენტებს შორის ფიქსირებულ (ან დინამიურ) ფუნქციონალურ კავშირებს. ვინაიდან "ადამიანი-მანქანა" სისტემას გარკვეული ფუნქციონალური სტრუქტურა აქვს, ერგონომიული თვალსაზრისით ადამიანური ფაქტორები გვევლინებიან მის ძირითად, სისტემის წარმომქმნელ ელემენტებად. ცხადია, "ადამიანი-მანქანა" სისტემა მხოლოდ ადამიანური ფაქტორებით არ ხასიათდება და გვაქვს

სხვა ფაქტორებიც, როგორც არის ორგანიზაციული, ინფორმაციული, ტერიტორიული და სხვაგვარი ფაქტორები [18]. აქედან გამომდინარე, ადამიანური ფაქტორების ანალიზის ობიექტად ქცევა არ გამოირიცხავს "ადამიანი-მანქანა" სისტემის სხვა ტექსონომიური ერთეულების გამოყოფას და მათ ცალკე გაანალიზებას. ადამიანური ფაქტორები ერთგვარი არ არის, რის გამოც მათი გამოყოფა და კლასიფიკაცია საკმაოდ რთულია. მნიშვნელოვანია აღინიშნოს, რომ თავად ადამიანურ ფაქტორებს ახასიათებთ სირთულის სხვადასხვა დონე. ეს გახლავთ ძალების დროებითი თავმოყრა, რაც ხელს უწყობს გარკვეული მიზნის მიღწევას.

როგორ უკვე ითქვა, გასათვალისწინებელი ადამიანური ფაქტორების გამოყოფის საფუძველი არის ადამიანის საქმიანობა. ეს ხდება "ადამიანი-მანქანა" სისტემის კომპონენტებს შორის ფუნქციონალური კავშირების განსაზღვრისას. მსგავსი ფუნქციონალური კავშირების არსებობა აუცილებელია სისტემაში ადამიანის საქმიანობის წარმატებით განხორციელებისთვის. აქედან გამომდინარე, ადამიანური ფაქტორები თავიდანვე მოცემული არ არის. მათი გამოვლენა შესაძლებელია მხოლოდ "ადამიანი-მანქანა" სისტემის ამოცანების წინასწარი ანალიზის, სისტემაში ადამიანის ფუნქციების ანალიზის და ადამიანის შრომითი საქმიანობის ხასიათის დადგენის შემდეგ. მსგავსი ანალიზი "ადამიანი-მანქანა" სისტემის პროექტირების აუცილებელი პირობაა. წინასწარი ანალიზი ხორციელდება ნაკლებად ან მეტად პროფესიონალურად, ინტუიციურ ან სამეცნიერო დონეზე, ემპირიულად, ექსპერიმენტალურად, არსებული პრაქტიკული გამოცდილების საფუძველზე და ა.შ. წინასწარი ანალიზის შედეგად განისაზღვრება ადამიანური ფაქტორების ნომენკლატურა, რომლის გათვალისწინება აუცილებელია "ადამიანი-მანქანა" სისტემის ეფექტური ფუნქციონირებისთვის. თუ გამოვლენილი ადამიანური ფაქტორების და "ადამიანი-მანქანა" სისტემის კომპონენტებს შორის ფუნქციონალური კავშირების სპექტრი მრავალფეროვანი და სრულია, ბევრად მარტივია კონკრეტული სისტემის გამოყენება, მომსახურების პერსონალის მიმართ წაყენებული მოთხოვნების ფორმული-

რება, პერსონალის მომზადება, შრომითი საქმიანობის სხვადასხვა მექანიზმების შეთანხმება და ა.შ. ადამიანური ფაქტორების სწორად ჩამოყალიბებული სისტემა დიდწილად განაპირობებს "ადამიანი-მანქანა" სისტემის პროექტირებას, ამალეებს მის ეფექტურობას და ხელს უწყობს სისტემაზე დაკისრებული ამოცანების წარმატებულ შესრულებას.

ამგვარად, ერგონომიული კვლევის, შეფასების და პროექტირების თავი და ბოლო ადამიანის საქმიანობაა. აქედან გამომდინარე, "ადამიანის საქმიანობის" ცნება არის ადამიანური ფაქტორების განსაზღვრის თეორიული საფუძველი. ერგონომიკის დარგში მუდმივად ყალიბდება ადამიანის საქმიანობის კონცეპტუალური სქემები და მისი ანალიზის ახალი მეთოდები, რაც თავის მხრივ ხელს უწყობს შრომითი საქმიანობის განზოგადებული თეორიის ჩამოყალიბებას. ამ თვალსაზრისით ერგონომიკის პრობლემატიკა მჭიდრო კავშირშია პრაქსეოლოგიასთან. ეს უკანასკნელი შეისწავლის ყოველგვარი საქმიანობის საერთო კანონებს და ადგენს საქმიანობის ორგანიზების ზოგად წესებს.

ერგონომიკა არა მხოლოდ სწავლობს ადამიანის საქმიანობის სხვადასხვა სახეობებს, რაც დაკავშირებულია ახალი ტექნიკის გამოყენებასთან, არამედ ახდენს მათ პროექტირებას. საქმიანობის პროექტი "ადამიანი-მანქანა" სისტემის წინაშე დასმული ამოცანების საფუძველზე ყალიბდება. ასეთ პროექტში ჩამოყალიბებულია გამოყენებული ტექნიკური საშუალებების მიმართ წაყენებული მოთხოვნები და დადგენილია კონკრეტული საქმიანობის შესრულებისთვის აუცილებელი მოთხოვნები (ადამიანის მიმართ), ისევე როგორც პერსონალის განათლების ამალეების მეთოდები. ამგვარი პროექტების საფუძველზე უმჯობესდება სამუშაო პირობები, რაც ხელს უწყობს ადამიანის შრომით საქმიანობას [19].

ერგონომიკა ქმნის ისეთ სამუშაო პირობებს, სადაც ადამიანი უფრო ეფექტურად იმუშავებს, შეინარჩუნებს ჯანმრთელობას და პიროვნულად განვითარდება. ადამიანის საქმიანობის პროექტირება ფუნდამენტურ ფსიქოლოგიურ კვლევებს და ფსიქიკური ფუნქციების (აღქმის, დამახ-

სოვრების, აზროვნების) მოდელირებას ეფუძნება. ადამიანის ფსიქიკური ფუნქციები გახლავთ საქმიანობის ფსიქოლოგიური ინსტრუმენტები ანუ საშუალებები. ამგვარ ინსტრუმენტებს ასევე მიეკუთვნება გამოცდილება, ცოდნა, ქცევის პროგრამა, უნარ-ჩვევები და ა.შ. მომსახურე პერსონალი იყენებს საქმიანობის ფსიქოლოგიურ ინსტრუმენტებს და ეყრდნობა გარე საშუალებებს, რომლებსაც სთავაზობენ "ადამიანი-მანქანა" სისტემის კონსტრუქტორები. გარე საშუალებებს მიეკუთვნება საინფორმაციო მოდელები, რომლებიც რეალიზებულია ინფორმაციის ასახვის საშუალებების (ეკრანების, ტაბლოების, მნემოსქემების) და მათემატიკური უზრუნველყოფის სახით. სხვადასხვა გარემოებებში "ადამიანი-მანქანა" სისტემის პროექტირება მეტად ეყრდნობა ადამიანის საქმიანობის შინაგან ან გარე საშუალებებს.

ადამიანის საქმიანობის კონკრეტული სახეობების პროექტირება, იქნება ეს მარტივ თუ შედარებით რთულ "ადამიანი-მანქანა" სისტემებში, მრავალფეროვანი კვლევების ჩატარებას მოითხოვს. ერგონომიკის სფეროში გამოქვეყნებული ნაშრომები სავსეა ადამიანის შემეცნებითი თუ საშემსრულებლო საქმიანობის ანთროპომეტრიული, ფიზიოლოგიური და ფსიქოლოგიური კვლევებით. უფრო მეტიც, ერგონომიკამ თავისი კვალი დაამჩნია ცოდნის აღნიშნული სფეროს პრობლემატიკას, თეორიას და კვლევის მეთოდებს. ადამიანთან დაკავშირებულ მეცნიერებებში ჩატარებული კვლევები არა მხოლოდ ამტკიცებს ამა თუ იმ თეორიასა თუ ჰიპოთეზას, არამედ იძენს პრაქტიკულ მნიშვნელობას. შრომითი საქმიანობის გარე საშუალებების სწორი პროექტირება და საქმიანობის განხორციელების სწორი მეთოდების მოძიება მოითხოვს არა მხოლოდ თეორიულ ცოდნას ადამიანის საქმიანობის შესახებ, არამედ დიდი მოცულობის რაოდენობრივ მონაცემებს, რომლებიც შეეხება საქმიანობის სხვადასხვა სახეობის განხორციელების სიზუსტეს, სისწრაფეს, თანმიმდევრულობას და ოპერატიულობას [20]. ამგვარი მონაცემების მიღება შესაძლებელია მხოლოდ ექსპერიმენტული კვლევების მეშვეობით. თუ

გავითვალისწინებით ექსპერიმენტული ნაშრომების მოცულობას და მათ სარგებელს პრაქტიკული პრობლემების გადაჭრისთვის, განსაკუთრებულ მნიშვნელობას იძენს მეთოდოლოგიური კვლევები.

ერგონომიკის წინაშე ორი სახეობის მეთოდოლოგიური პრობლემა დგას. პირველი გახლავთ ის, რომ ერგონომიკა საჭიროებს დისციპლინათა-შორისო კვლევებს. აქედან გამომდინარე, ცოდნის სხვადასხვა სფეროებიდან მიღებული შედეგების გათვალისწინების და სინთეზის მეთოდოლოგიური საშუალებების შემუშავებას განსაკუთრებული მნიშვნელობა აქვს. ერგონომიკაში აღწერილი მეთოდოლოგიური პრობლემა საკმაოდ კონკრეტულად დგას. მეცნიერები დავობენ, რამდენად თავსებადია სხვადასხვა მეთოდები ერთ ექსპერიმენტულ კვლევაში და როგორ შეიძლება კვლევის შედეგების ინტერპრეტაცია. საბოლოო ჯამში კვლევის შედეგად ვიღებთ შედეგებს, რომლებიც საშუალებას გვაძლევს შევაფასოთ არა მხოლოდ ადამიანის საქმიანობის ეფექტურობა (ინფორმაციის მოძიების ან გადაწყვეტილების მიღების მომზადების რეჟიმში), არამედ დავადგინოთ ფიზიოლოგიური ფუნქციონალური სისტემების ენერგეტიკული დანახარჯები. თუ ერთ ექსპერიმენტში სხვადასხვა დარგების (მაგალითად, ფსიქოლოგიის და ფიზიოლოგიის) კვლევის მეთოდებს გამოვიყენებთ, უფრო ზუსტად შევძლებთ ადამიანის საქმიანობის ეფექტურობის პროგნოზირებას და სხვადასხვა ფუნქციონალური მდგომარეობების გამოვლენას. ადამიანის საშემსრულებლო საქმიანობის ანთროპომეტრიული, ბიომექანიკური და ფსიქოლოგიური ასპექტების შესწავლის შედეგად გროვდება ცოდნა და გამოცდილება იმის შესახებ, თუ როგორ მოქმედებს ადამიანი სენსო-მოტორული კონტროლის და მართვის ბერკეტების გამოყენების რეჟიმში.

ერგონომიკის წინაშე მდგარი მეთოდოლოგიური პრობლემების მეორე სახეობა შიდადისციპლინარულია. მეცნიერების ყველა დარგში, რომელსაც ეყრდნობა და რომლის შედეგებსაც იყენებს ერგონომიკა, ერთი და იგივე მოვლენის შესწავლისა და აღწერისთვის გამოიყენება განსხვავებული მეთოდები, მიდგომები და კონცეპტუალური სქემები. აღნიშნული სქემები

თავის დროზე შეიქმნა გარკვეული სამეცნიერო და პრაქტიკული ამოცანების გადაჭრის მიზნით, მაშინ როდესაც ერგონომიკას შესაძლოა განსხვავებული ამოცანები ჰქონდეს. საბოლოო ჯამში, მეთოდოლოგიურ პრობლემებთან ბრძოლა და კვლევის მეთოდების დამუშავება ხელს უწყობს ერგონომიკის თეორიის სრულყოფას და ამავდროულად ამდიდრებს კონკრეტული კვლევების პრაქტიკას.

მოკლედ რომ ვთქვათ, ერგონომიკა დისციპლინათაშორისი დარგია, რომლის კვლევის მეთოდები და პროექტირების ტექნოლოგიები ეყრდნობა ადამიანის ცოდნის შემდეგ სფეროებს:

- საინჟინრო ფსიქოლოგია;
- შრომის ფსიქოლოგია, ჯგუფური საქმიანობის თეორია, კოგნიტიური ფსიქოლოგია;
- კონსტრუირება;
- ტექნიკური ესთეტიკა;
- ჰიგიენა და შრომის უსაფრთხოება;
- ანთროპოლოგია და ანთროპომეტრია;
- მედიცინა; ადამიანის ანატომია და ფიზიოლოგია;
- პროექტირების თეორია;
- მართვის თეორია.

ერგონომიკის, როგორც სამეცნიერო დარგის ამოცანები შემდეგში მდგომარეობს [21]:

- ადამიანის-ოპერატორის საქმიანობის პროექტირების თეორიული საფუძვლების მომზადება გამოყენებული ტექნიკის და სამუშაო გარემოს სპეციფიკის გათვალისწინებით;
- ადამიანის, ტექნიკური სისტემებისა და სამუშაო გარემოს ურთიერთ-კავშირების კანონზომიერებების შესწავლა;
- "ადამიანი-მანქანა" სისტემების აგების და ოპერატორების საქმიანობის ალგორითმების პრინციპების ჩამოყალიბება;

- "ადამიანი-მანქანა" სისტემების განვითარების პერსპექტიული დაგეგმარება და ასეთ სისტემებში მოქმედი ოპერატორების შრომის მიმართულების განსაზღვრა;
- ეფექტური ერგოტექნიკური გარემოს შექმნისა და ექსპლუატაციის პროცესების თანმდევი მეთოდების და საშუალებების შემუშავება;
- "ადამიანი-მანქანა" სისტემების შექმნისა და ექსპლუატაციის გამოცდილების განზოგადება და ეფექტური გადაწყვეტილებების სტანდარტიზაცია;
- შრომის ხარისხსა და შესაბამის ერგონომიულ პარამეტრებს შორის კავშირების მოძიება;
- კომპლექსური ერგონომიული ექსპერტიზის ჩატარება;
- სამუშაო გარემოს პროექტირება;
- "ადამიანი-მანქანა" სისტემების პროექტირების და ექსპლუატაციის პრაქტიკაში სტანდარტების დანერგვა.

ჩვენ ვისაუბრეთ ერგონომიკის, როგორც სამეცნიერო დარგის, კვლევის ობიექტებსა და ამოცანებზე. რაც შეეხება "ადამიანი-მანქანა" სისტემაში და მათ შორის SCADA სისტემებში გამოყენებული კომპონენტების ერგონომიულობას, პირველ რიგში აღსანიშნავია, რომ ოპერატორს ინფორმაციის აღქმისა და განზოგადებისთვის სჭირდება ტექნიკური საშუალებები, რომლებსაც ინფორმაციის ასახვის საშუალებები ეწოდება. ინფორმაციის ასახვის საშუალებები აღქმის ორგანოების მიხედვით განსხვავდება და შესაბამისად, არსებობს ვიზუალური, ხმოვანი, ტაქტილური და სხვა სახის საშუალებები [22].

ადამიანი-ოპერატორის საქმიანობაში ყველაზე მნიშვნელოვანი ფუნქცია აკისრია ინფორმაციის ვიზუალური ასახვის საშუალებებს და მათ შორის უპირველ ყოვლისა დისპლეებს [23]. ერთმანეთისგან განასხვავებენ მექანიკურ დისპლეებს (ციფრულ მთვლელებს), უძრავი შკალის ან მოძრავის ისრის მქონე დისპლეებს და დასურათებულ დისპლეებს, მათ შო-

რის კი ვიდეოდისპლევებს და ჰოლოგრაფიულ დისპლევებს, იქნება ის ფერადი თუ შავ-თეთრი გამოსახულებით.

ინფორმაციის ვიზუალური ასახვის საშუალების პროექტირებისას მნიშვნელოვანია წარმოდგენილი ინფორმაციის სახეობა, კოდირების მეთოდები და სივრცითი ადგილმდებარეობა. *კოდური ნიშნების* შერჩევისას ითვალისწინებენ შემდეგ ფაქტორებს:

- ნიშნების ალფავიტის შედგენისას მნიშვნელოვანია ალფავიტის სიმბოლოების ზუსტი და თანმიმდევრული კლასიფიკაცია;
- ობიექტის კლასიფიკაციის ძირითადი ნიშანი კოდირება ჩაკეტილი კონტურის მეშვეობით;
- ნიშანს სასურველია ჰქონდეს არა მხოლოდ კონტური, არამედ დამატებითი დეტალები;
- დამატებითი დეტალები სასურველია არ კვეთდეს ან ამახინჯებდეს ძირითად სიმბოლოს;
- სასურველია სიმეტრიული სიმბოლოების გამოყენება, რადგან ასეთი სიმბოლოების შესწავლა და შენარჩუნება ოპერატიულ თუ გრძელვადიან მეხსიერებაში უფრო იოლია;
- სასურველია სიგნალის პარამეტრებსა და ობიექტის მაკოდირებელ ნიშნებს შორის "ზუნებრივი" ურთიერთკავშირების არსებობა.

თუ გამოიყენება ინფორმაციის ფერადი კოდირების მეთოდები, სასურველია ფერის ემოციური დატვირთვის გათვალისწინება, რაც ხშირად ხდება საშიშროების შემატყობინებელი სიგნალების გადაცემისას. საერთაშორისო სტანდარტების მიხედვით, შედარებით თბილი ტონებით კოდირდება საშიშროების შემცველი სიგნალები, ხოლო შედარებით ცივი ტონებით - უსაფრთხო სიგნალები. საშიშროების ხარისხის კოდირება ასევე სხვადასხვა ფერით ხდება. წითელი ფერი, როგორც წესი, მოქმედების შეწყვეტას ითხოვს, სტაფილოსფერი სერიოზული საფრთხის შესახებ გვატყობინებს, ყვითელი ყურადღების ნიშანია, მწვანე საშიშროების არარსებობაზე მიუთითებს, ხოლო ლურჯი ფერი ოპერატორს ატყობინებს, რომ

მოქმედება არ დაიწყოს. გარდა ამისა, მოციმციმე წითელი ფერი ასახავს ვითარებას, როდესაც აუცილებელია დაუყოვნებელი მოქმედება. ინფორმაციის ფერადი კოდირება განსაკუთრებით სასარგებლოა, როდესაც დისპლეი არ არის გრაფებად დაყოფილი, სიმბოლოები მჭიდროდ არის განლაგებული ან ოპერატორს ინფორმაციის მოძიება მონაცემების დიდი სიმრავლიდან უწევს.

ვინაიდან თვალის ბადურის პერიფერია ნაკლებად მგრძნობიარეა მწვანე და წითელი ფერის მიმართ, სასურველია ეს ფერები არ გამოვიყენოთ ეკრანის კიდეებზე. ყვითელი და ლურჯი კარგი პერიფერიული ფერებია, მაგრამ ლურჯი ფერი ჯობია არ გამოვიყენოთ ნიშნებსა და წვრილ ხაზებში. ფერადი ეკრანისთვის სასურველია წითლისა და მწვანის ან ყვითლისა და ლურჯის კომბინაციების გამოყენება. გამოსახულების პატარა დეტალებისთვის ლურჯი ფერის გამოყენება სასურველი არ არის, სამაგიეროდ, ლურჯი კარგი ფერია ფონისთვის.

ვიზუალური ინფორმაციის აღქმას ხელს უწყობს შემდეგი ფაქტორები:

- შესამჩნევობა - შეტყობინება აუცილებელია იპყრობდეს ოპერატორის ყურადღებას და მდებარეობდეს მისი მხედველობის არეალში. ოპერატორის ყურადღების მიპყრობას ხელს უწყობს სიმბოლოს შესამჩნევობა, სიახლე და რელევანტურობა;
- გამოყოფილობა - ყველაზე მნიშვნელოვანი ინფორმაცია სასურველია იყოს გამოყოფილი, რისთვისაც შესაძლებელია დიდი ზომის შრიფტის გამოყენება;
- მკაფიოობა - მკაფიოობის ამაღლება შესაძლებელია ფონის მიმართ კონტრასტის გაღრმავების ან კარგი გარჩევადობის მქონე შრიფტის გამოყენების გზით;
- გასაგებობა - ოპერატორმა სასურველია კარგად გაიგოს, რაში მდგომარეობს საფრთხე და რა მოხდება, თუ გაფრთხილება უყურადღებოდ

დარჩება. შეტყობინება სასურველია იყოს რაც შეიძლება ლაკონური, ხოლო მოქმედების ინსტრუქცია უნდა იყოს ზუსტი;

- ხილულობა - შეტყობინება სასურველია იყოს ხილული სამუშაო ადგილის ნებისმიერ განათებაზე;
- სტანდარტულობა - მიზანშეწონილია სტანდარტული სიტყვებისა და სიმბოლოების გამოყენება.

ეკრანზე გამოსახული ტექსტუალური ინფორმაციის აღქმაზე მნიშვნელოვან გავლენას ახდენს სიმბოლოებისა და ციფრების შრიფტი. შტრიხის სისქე და სიმბოლოს სიმაღლის თანაფარდობა სასურველია იყოს 1:6-დან 1:8-მდე (თეთრ ფონზე გამოსახული შავი სიმბოლოების შემთხვევაში) და 1:8-დან 1:10-მდე (შავ ფონზე გამოსახული თეთრი სიმბოლოების შემთხვევაში).

სიმბოლოებისა და ციფრების სასურველი სიმაღლე დამოკიდებულია როგორც დაკვირვების მანძილზე, ასევე განათებასა და შეტყობინების მნიშვნელობაზე. მაგალითად, თუ დაკვირვების მანძილია 35სმ, ნაკლებად მნიშვნელოვანი ინფორმაციის შემთხვევაში სიმბოლოების რეკომენდირებული სიმაღლეა 2,3მმ, ხოლო მნიშვნელოვანი ინფორმაციის შემთხვევაში - 4,3მმ.

ვიზუალური ინფორმაცია აუცილებელია მოექცეს ოპერატორის მხედველობის არეალში. ამავდროულად, ძირითადი ინფორმაცია სასურველია იყოს ეკრანის ცენტრში, ხოლო მეორეხარისხოვანი ან საარქივო ინფორმაცია - ეკრანის პერიფერიებზე.

ინფორმაციის ასახვის ხმოვანი საშუალებები ვიზუალურ საშუალებებთან ერთად გამოიყენება შემდეგ შემთხვევებში:

- შეტყობინება მარტივია;
- შეტყობინება ლაკონურია;
- არ არის აუცილებელი მომავალში შეტყობინებასთან დაბრუნება;
- შეტყობინება ასახავს დროში დაცილებულ მოვლენებს;
- შეტყობინება ითხოვს დაუყოვნებლივ მოქმედებას;

- ოპერატორის მხედველობა გადატვირთულია;
- ოპერატორის სამუშაო მოითხოვს ხშირ გადაადგილებას;

გამაფრთხილებელი ხმოვანი სიგნალების შერჩევას აუცილებელია შემდეგი ფაქტორების გათვალისწინება:

- სიგნალის სიხშირე უნდა მოექცეს 150-1000ჰც-ის დიაპაზონში;
- სიგნალებს აუცილებელია ჰქონდეს ჰარმონიული სიხშირული კომპონენტები;
- სიგნალებს აუცილებელია ჰქონდეს არა ნაკლებ ოთხი გამოკვეთილი სიხშირული კომპონენტი, რაც ამცირებს სიგნალების გადაფარვის რისკებს;
- მიზანშეწონილია ძირითადი სიხშირის მოდულაციის შემოღება ოპერატორის ყურადღების მიპყრობის მიზნით

ხმოვანი შეტყობინებების გამოყენებისას მნიშვნელოვანია მეტყველების გარკვეულობა და სემანტიკა. ერთმანეთისგან განასხვავებენ ბუნებრივი და სინთეზური მეტყველების სისტემებს. სინთეზური მეტყველების აღქმა დამოკიდებულია მასინთეზირებელი მოწყობილობის სახეობაზე. ხმოვანი შეტყობინების გამოყენება სასურველია მაშინ, როდესაც მუშაობის ნორმალური პირობები დარღვეულია, ხოლო სიგნალები უმჯობესია გამოვიყენოთ ავარიულ და კრიტიკულ სიტუაციებში.

ინფორმაციის მიწოდების ტაქტილური საშუალებები იშვიათად გამოიყენება. ამგვარი საშუალებები, როგორც წესი, გამოიყენება დამატებით და მაშინ, როდესაც მომსახურე პერსონალს მხედველობის ან სმენის დაქვეითება აღენიშნება. "ადამიანი-მანქანა" სისტემებში ხშირად გამოიყენება მართვის ორგანოების ტაქტილური კოდირება, რათა მომსახურება პერსონალმა ისინი შეხების მეშვეობით გაარჩიოს. ტაქტილური სისტემების შერჩევას მნიშვნელოვანია კანის სტიმულირებადი მონაკვეთების მოცულობა, ვიბრაციული სიხშირეების დიაპაზონი, ზემოქმედების ინტენსიურობა, ზემოქმედების სახეობა და სხვა ფაქტორები.

"ადამიანი-მანქანა" სისტემის და მათ შორის SCADA სისტემების ინტერფეისის მნიშვნელოვანი კომპონენტია მართვის ორგანოები. ოპერატორი მართვის ორგანოების მეშვეობით სისტემის ტექნიკურ ნაწილს მექანიკურ ენერგიას ან ინფორმაციას გადასცემს მართვის ავტომატური ფუნქციების შესრულების მიზნით. მართვის ორგანოების შერჩევა, ორგანიზაცია და განლაგება ადამიანის ანატომიური, ანთროპომეტრული, ბიომექანიკური და ფიზიოლოგიური თვისებების გათვალისწინებით ხდება. გარდა ამისა, აუცილებელია ოპერატორის მუშაობის ალგორითმული მახასიათებლების, ამოცანის ხასიათის, მართვის სახეობის და სხვა ასეთი ფაქტორების გათვალისწინება. მართვის ორგანოებს განასხვავებენ შემდეგი მახასიათებლების მიხედვით:

- დანიშნულება: ინფორმაციის შეტანა ან რეჟიმების დაყენება;
- მოძრაობის სახეობა: ჩართვისთვის მოძრაობა საჭირო არ არის ან საჭიროა განმეორებადი, დოზირებული მოძრაობა;
- გამოყენება: ოპერატიული, პერიოდული ან ეპიზოდური;
- კონსტრუქცია: დილაკები, ტუმბლერები, გადამრთველები, მანიპულატორები და სხვ.;
- მნიშვნელობა: მთავარი ან დამხმარე;

მართვის ორგანოების და ინფორმაციის ასახვის საშუალებების განლაგება ოპერატორის სამუშაო ადგილზე განსაზღვრავს კიდევ, რამდენად ეფექტურად იმუშავებს ადამიანი. ოპერატორის სამუშაო სივრცის ორგანიზაციისას სხვებთან ერთად შემდეგ კრიტერიუმებს ითვალისწინებენ:

- მოტორული არეალის ზომა;
- ზღვრული ფიზიოლოგიური პირობები (სიზუსტის, სისწრაფის, ძალის და სხვა მოთხოვნები);
- ურთიერთქმედების პირობები;
- შემავალი ინფორმაციის სიხშირე და მნიშვნელობა;
- ვიზუალური თუ ხმოვანი უკუკავშირის შესაძლებლობები;
- მართვის ალგორითმი (მოქმედებების თანმიმდევრობა);

- გარანტიები შემთხვევითი მოქმედებების წინააღმდეგ;
- მოქმედების შესრულების შესაძლებლობა დგომით ან ჯდომით.

ამავდროულად, ითვალისწინებენ ადამიანი-ოპერატორის სქესს, ვინაიდან ქალისა და მამაკაცის ფიზიკურ-ფსიქოფიზიოლოგიური შესაძლებლობები ერთგვარი არ არის.

თუ მართვის პანელზე დიდი რაოდენობით მოწყობილობა გვხვდება, იყენებენ დაჯგუფების მეთოდებს, რა დროსაც ითვალისწინებენ ამა თუ იმ მოწყობილობის გამოყენების სიხშირეს სამუშაო ალგორითმის შესრულების პროცესში. მართვის და ინდიკაციის ხშირად გამოყენებული მოწყობილობები სასურველია განთავსდეს ეკრანის ცენტრალურ არეალში, ხოლო შედარებით იშვიათად გამოყენებული მოწყობილობები - კიდეებზე [24]. ეკრანის ცენტრალურ არეალში ასევე განლაგებენ ინფორმაციის ასახვისა და მართვის ავარიულ საშუალებებს. ამავდროულად, მნიშვნელოვანია მართვის და ინდიკაციის გარკვეულ საშუალებებს შორის განსაზღვრული დისტანციის დაცვა, რათა არ მოხდეს ინტერფერენცია და ინფორმაციის ერთმანეთში არევა.

მართვის ორგანოების დინამიური მახასიათებლები აუცილებელია შეესაბამებოდეს ადამიანის მოქმედების სისწრაფეს. SCADA სისტემა სასურველია უზრუნველყოფდეს, რათა მართვის ან ინფორმაციის ასახვის საშუალებებთან მუშაობის შემთხვევითი რეჟიმი არ დამყარდეს, რაც გამოიწვევს ავარიულ სიტუაციას. დაბოლოს, სამუშაო ადგილის ფერები და ერგონომიული მახასიათებლები არ უნდა ღლიდეს ოპერატორს და იწვევდეს მის მონოტონურ, ჰიპნოტურ მდგომარეობაში ჩაგდებას.

ვიდრე SCADA სისტემებში გამოყენებული კომპონენტების ერგონომიულობაზე საუბარს დავასრულებდეთ, ორიოდე სიტყვა უნდა ითქვას ზოგადად "ადამიანი-მანქანა" სისტემების საინჟინრო-ფსიქოლოგიური პროექტირების მნიშვნელოვან ობიექტზე, როგორც არის ადამიანისა და მანქანის ინტერფეისი. ამგვარი ინტერფეისების დიდი მრავალფეროვნებიდან გამოირჩევიან სამომხმარებლო ინტერფეისები (UserInterface).

ისინი საკუთარ თავში აერთიანებენ პროგრამების კომპონენტებსა და ელემენტებს, რომლებიც გავლენას ახდენენ მომხმარებლის და კომპიუტერული სისტემის ურთიერთქმედებაზე. ეს გახლავთ ინფორმაციის ასახვის საშუალებები, ინფორმაციის წარმოდგენის ფორმატების და კოდები, მონაცემების შეტანა-გამოტანის ტექნოლოგიები და ა.შ. სამომხმარებლო ინტერფეისს ასევე განეკუთვნება დიალოგები, ოპერატორისა და სისტემის ტრანზაქციები, მომხმარებლისა და სისტემის უკუკავშირები, ოპერატორის რეაქციები და სხვა.

აღნიშნული კლასის ინტერფეისების უმეტესობა დაკავშირებულია მომხმარებლის კომპიუტერულ-გრაფიკულ ინტერფეისებთან (GUI-ებთან). ამგვარ ინტერფეისებში გამოიყენება მომხმარებლისთვის ნაცნობი ოპერაციული სისტემების, Windows-ის და Macintosh-ის ფანჯრები, მენიუები, პიქტოგრამები და მანიპულატორები. მომავალში იგეგმება ბუნებრივ (ადამიანზე ორიენტირებულ) ინტერფეისებზე გადასვლა, სადაც გამოიყენება ადამიანური ურთიერთობების მექანიზმები და ფსიქოფიზიოლოგიური სისტემის ფუნქციონირება. ამ შემთხვევაში მოსახერხებელია სამგანზომილებიანი გრაფიკის, ნანოტექნოლოგიების და მიკროსისტემური ტექნიკის გამოყენება.

სამომხმარებლო ინტერფეისების ერგონომიული პროექტირების პროცესში ხდება პროგრამული აღჭურვილობის დამუშავება და ტესტირება. ეს პროცესი შემდეგი ეტაპებისგან შედგება:

- ოპერატორის საქმიანობის ანალიზი;
- ოპერატორის სამუშაო ადგილის მოდელირება, მისი საქმიანობისადმი წაყენებული მოთხოვნების ჩამოყალიბება და ინტერფეისის შეფასების კრიტერიუმების შერჩევა;
- ოპერატორის პროგრამასთან მუშაობის სცენარის დამუშავება, მისი წინასწარი შეფასება და კორექცია;
- სამომხმარებლო ინტერფეისის პროტოტიპის დამუშავება და სამუშაო ვარიანტის შექმნა;

- პროგრამის სატესტო ვერსიის შექმნა; აქ საუბარია პროგრამაზე, რომელიც ახდენს სამომხმარებლო ინტერფეისის რეალიზაციას;
- ოპერატორის მხარდამჭერი საშუალებების შექმნა (დამხმარე ინფორმაცია, ლექსიკონები, რჩევები და ა.შ.);
- პროგრამის სატესტო ვერსიის გამოყენებადობის შემოწმება;
- საბოლოო პროდუქტის დამუშავება, დოკუმენტაციის მომზადება და ოპერატორის სწავლება.

ნებისმიერი ინტერფეისის შეფასება შემდეგი ძირითადი ოთხი კრიტერიუმით ხდება:

- რამდენად ასრულებს ინტერფეისი მის წინაშე დასმულ ამოცანებს;
- რამდენად სწრაფად მუშაობს ოპერატორი;
- რა რაოდენობის შეცდომას უშვებს ოპერატორი მოცემულ ინტერფეისთან მუშაობისას;
- რამდენად კმაყოფილია ოპერატორი.

1.4. მრავალფუნქციურობის პრინციპი

ფუნქცია არის ციფრული სისტემის (ცს)-ის (მათ შორის SCADA სისტემის) ან მისი ელემენტის, როგორც ობიექტის, მოქმედება, ქცევა, მოღვაწეობა [25].

ელემენტის ფუნქცია წარმოიშვება მისი ფორმირების დროს სისტემა განმსაზღვრელი და სისტემაში მისი კავშირების თვისებების რეალიზაციის სახით. ცს-ის ფუნქცია (მრავალფუნქციურ სისტემებში - ფუნქციათა ნაკრები) წარმოიშობა როგორც სპეციფიური შედეგი ელემენტების ფუნქციათა და დისფუნქციათა სრული კომპლექსისა.

ცს-ის ყოველი ელემენტი ფლობს თვისებათა უზარმაზარ რაოდენობას. სისტემაში ელემენტების კავშირების ფორმირებისას ერთნი ამ თვისებათაგან იგნორირდებიან (ჩაიხშობიან), სხვანი, პირიქით ღებულობენ

გამოკვეთილ სახეს. მიუხედავად ამისა, ელემენტის სისტემავერწარმომშობი თვისებათა ჩახშობის ხარისხი, როგორც წესი, სრული არაა. ამასთან დაკავშირებით სისტემის ფორმირებისას წარმოიშობიან არა მარტო „საჭირო“ ფუნქციები, რომლებიც გამიზნულნი არიან სისტემის ხარისხობრივი თავისებურებების შენარჩუნებისათვის, არამედ დისფუნქციებიც - ფუნქციები, რომლებიც ნეგატიურად აისახებიან სისტემის ფუნქციონირებაზე.

ცს-ების პროექტირებისას უმთავრესი ამოცანაა სისტემის ეფექტურობის კრიტერიუმების ამორჩევა და დასაბუთება. საკითხის საერთო დაყენების თვალსაზრისით გამოყოფენ კრიტერიუმების სამ კლასს: ტექნიკურს, ეკონომიკურს და სოციალურს.

ცს-ების ტექნიკური ეფექტურობის მაჩვენებლებს მიეკუთვნება წარმადობა, სირთულე (სიმარტივე), საიმედოობა, კონტროლის და რემონტუნარიანობა, მოქნილობა (სიცოცხლისუნარიანობა), ექსპლუატაციის მოხერხებულობა და სხვა. ბოლო წლებში ამ მაჩვენებლების რიგში ჩადგა ენერგოეკონომიურობა (ენერგოეფექტურობა).

ტექნიკური ეფექტურობის მაჩვენებლებს უნდა მივაკუთვნოთ მრავალფუნქციურობაც, რამდენადაც ის გავლენას ახდენს სისტემის სხვა ტექნიკური ეფექტურობის მაჩვენებლებზე. მრავალფუნქციურობის მაჩვენებლის ზრდა, როგორც წესი, ხელს უწყობს სისტემის სირთულის შემცირებას, საიმედოობის, მოქნილობის და სხვა მაჩვენებლების გაუმჯობესებას. აქედან გამომდინარე, არ შეიძლება სისტემის (ელემენტის) მრავალფუნქციურობა განხილული იქნას ტექნიკური ეფექტურობის სხვა მაჩვენებლებისგან დამოუკიდებლად. ასეთი მიდგომის შემთხვევაში სისტემის (ელემენტის) მრავალფუნქციურობის ზრდას შეიძლება მოჰყვეს ტექნიკური ეფექტურობის სხვა მაჩვენებლების, მაგალითად, წარმადობის ან სწრაფქმედების, გაუარესება. ამდენად შეიძლება დავასკვნათ, რომ სისტემის (ელემენტის) სინთეზისას მრავალფუნქციურობის ზრდა ხელს უწყობდეს ტექნიკური ეფექტურობის სხვა მაჩვენებლების გაუმჯობესებას ან სინთეზირებად სისტემაში მრავალფუნქციურობის მაჩვენებელი უნდა

გაიზარდოს იმ ზომამდე, რომ ტექნიკური ეფექტურობის სხვა მაჩვენებლები არ გამოვიდნენ დასაშვები ზღვრებიდან.

მრავალფუნქციურობის პრინციპი ასე ყალიბდება [26]: „... სისტემის განვითარებასთან, მათ მიერ რეალიზებული ფუნქციების გაფართოებასთან და გართულებასთან ერთად უფრო ეფექტური და სიცოცხლისუნარიანი არიან სისტემები, რომლებშიც სისტემის იერარქიის სხვადასხვა დონეებზე ელემენტების ფუნქციური შესაძლებლობების გაზრდა წინ უსწრებს მათი სირთულის ზრდას“.

მრავალფუნქციურობის ზემოთ მოყვანილი პრინციპი ილუსტრირებულია ნახ. 1.4-ზე. მრავალფუნქციურობის პრინციპიდან გამომდინარე, სისტემის ეფექტურობის დახასიათებისთვის აუცილებელი გამოვიყენოთ ტექნიკური ეფექტურობის ყველა საჭირო მაჩვენებელი, მაგრამ ელემენტის დონეზე ეფექტურობის მაჩვენებლებიდან გაითვალისწინება მხოლოდ მრავალფუნქციურობა. მრავალფუნქციურობის მაჩვენებლის ზრდა ელემენტის დონეზე ხელს უწყობს სისტემის სირთულის მაჩვენებლის გაუმჯობესებას, მაგრამ ზოგიერთ შემთხვევაში შეიძლება მიგვიყვანოს თვითონ ელემენტის დონეზე, მაგალითად, სწრაფქმედების შემცირებამდე, რაც თავის მხრივ შეამცირებს მთლიანობაში სისტემის სწრაფქმედებას და წარმადობას. ზოგიერთ შემთხვევაში სისტემის პროგრესული არქიტექტურული გადაწყვეტების ხარჯზე კომპენსირდება ელემენტის დონეზე დაკარგული სწრაფქმედება, მაგრამ ამ შემთხვევაში იგნორირდება იერარქიულობის პრინციპი. ამრიგად, მრავალფუნქციურობის ცნობილი პრინციპი სრულად ვერ ახასიათებს იერარქიულ ცს-ს.

მრავალფუნქციურობის ზემოთ მოტანილი ცნობილი პრინციპიდან გამომდინარეობს მრავალფუნქციურობის პირობა. ამ პირობის თანახმად, იმისათვის, რომ ცს-ის ნებისმიერი ელემენტი განვიხილოთ როგორც მრავალფუნქციური, აუცილებელი და საკმარისია, რომ მისთვის შესრულდეს უტოლობანი [27]:

Card $F \geq 2$;

მის იერარქიის მრავალფუნქციური ელემენტის მიერ რეალიზებული ფუნქციათა ნაკრების ($F=\{f_1, f_2, \dots, f_n\}$) შემადგენელი ფუნქციები სისტემის ფუნქციონირებისათვის ერთნაირად საჭიროა ანუ მათ აქვთ საჭიროების ერთნაირი ხარისხი.

სისტემის მრავალფუნქციური ელემენტის ფუნქციათა საჭიროების ხარისხი გულისხმობს გარკვეული ფუნქციის (-ების) შესრულებისას ელემენტის ტექნიკური ეფექტურობის მაჩვენებლების დასაშვებ (მისაღებ) რიგს სისტემის მიერ შესასრულებელი მიზნობრივი ფუნქციის რეალიზაციისათვის [29].

მოცემულ განსაზღვრებაში ფუნქციის (-ების) შესრულებისას ელემენტის ტექნიკური ეფექტურობის ქვეშ იგულისხმება მრავალფუნქციური ელემენტის მიერ ფუნქციის შესრულების დროითი პარამეტრები, აპარატურული დანახარჯების დონე, სიზუსტის პარამეტრები და სხვა.

როგორც ცნობილი ცს-ების კვლევა გვიჩვენებს, სისტემის იერარქიის ნებისმიერ დონეზე ელემენტის მიერ შესასრულებელი ფუნქციები რანჟირებულია მათი საჭიროების ხარისხის მიხედვით, ე.ი. ელემენტის დონეზე არის სისტემის ფუნქციონირებისათვის სასიცოცხლო მნიშვნელობის ფუნქციები და ფუნქციები, რომლებიც ემსახურების სისტემის დამხმარე ფუნქციების რეალიზაციას, მაგალითად, სისტემის ბლოკის დონეზე თვით-ტესტირების ფუნქციები, დამხმარე საინდიკაციო ფუნქციები და ა.შ. ამ უკანასკნელთა მტყუნება არ იწვევს სისტემის ფუნქციონირებაში სავალალო შედეგებს ან სისტემის მიზნობრივი ფუნქციის მიღწევაში ხარვეზებს.

ზემოთ თქმულიდან გამომდინარე, აუცილებელია, რომ სისტემის ნებისმიერი იერარქიული დონის მრავალფუნქციური ელემენტის ფუნქციები რანჟირებული იქნას საჭიროების ხარისხის მიხედვით. ეს იმისთვის არის საჭირო, რომ გამოიკვეთოს ის ტექნიკური მოთხოვნები, რომლებიც წაყენება მრავალფუნქციურ ელემენტს ამა თუ იმ ფუნქციის შესრულებისას. ერთი რამ ცალსახაა, რომ ერთფუნქციონალური ელემენტის ფუნქციონალური შესაძლებლობების გაფართოებისას არ უნდა გაუარესდეს

მისი სისტემაწარმომქნელი თვისებები ანუ მისი დამახასიათებელი ტექნიკური ეფექტურობის მაჩვენებლები.

ამრიგად, ცს-ებში მრავალფუნქციურობის ცნობილი პრინციპის სრულად შესრულება ვერ ხდება. ამ ხარვეზის აღმოფხვრისათვის შემოთავაზებულია მრავალფუნქციურობის პრინციპი რანჟირებული ფუნქციებისათვის.

ცს ეფექტური და სიცოცხლისუნარიანია მაშინ, როდესაც მისი იერარქიის სხვადასხვა დონეზე ელემენტების ფუნქციური შესაძლებლობების გაფართოება წინ უსწრებს მათი სირთულის ზრდას ისე, რომ ყოველი ელემენტის ფუნქციის საჭიროების ხარისხი შენარჩუნებული იქნას.

მრავალფუნქციურობის შემოთავაზებული განმარტებიდან გამომდინარე მრავალფუნქციურობის პირობა იერარქიული ცს-ებისათვის შემდეგნაირად შეგვიძლია განვაზოგადოთ: იმისათვის, რომ ცს-ის ნებისმიერი იერარქიული ელემენტი განვიხილოთ როგორც მრავალფუნქციური, აუცილებელი და საკმარისია, რომ მისთვის შესრულდეს შემდეგი უტოლობა [30]:

$$Card F \geq 2;$$

$$L_{\theta\theta\theta} = \sum_{i=1}^{Card F} L_{\theta\theta\theta}^i$$

$$E_{\theta\theta\theta}^i \geq E_{\theta\theta\theta}^j$$

სადაც $L_{\theta\theta\theta}$ არის მრავალფუნქციური ელემენტის სირთულე, $L_{\theta\theta\theta}^i$ - i -ური ერთფუნქციონალური ელემენტის სირთულე, ხოლო $E_{\theta\theta\theta}^i$ და $E_{\theta\theta\theta}^j$ მრავალფუნქციური და ერთფუნქციური ელემენტის ტექნიკური ეფექტურობის j -ური მაჩვენებელი ($i = \overline{1, k}, Card F = k, j = \overline{1, k}$).

მრავალფუნქციურობის შემოთავაზებული პრინციპი ილუსტრირებულია ნახ. 1.5-ზე.

ცს-ების ანალიზის შედეგად შეიძლება გამოვყოთ მათი აგების იერარქიის შემდეგი დონეები:

- სისტემა;



ნახ. 1.6. მოწყობილობების ფუნქციონალური შესაძლებლობების პირობითი განაწილება

დაწყებული კვანძის იერარქიული დონიდან ბლოკის იერარქიულ დონემდე ხდება შემადგენელი კომპონენტების ფუნქციური სიმძლავრის თანდათანობით ზრდა და პროცესორის შემთხვევაში ფუნქციური სიმძლავრის პარამეტრი აღწევს მაქსიმალურ მნიშვნელობას. პროცესორის შემთხვევაში ფუნქციური სიმძლავრის პარამეტრის მკვეთრი ზრდა გამომდინარე კომპონენტის ფუნქციური სიმძლავრის ზრდის ახალი თვისობრიობით, რაც მდგომარეობას ფუნქციური სიმძლავრის ზრდის თვისობრივად განსხვავებული მეთოდების გამოყენებაში. პროცესორის იერარქიული დონიდან შემდგომ მაღალ იერარქიებზე გადასვლისას ფუნქციური სიმძლავრის მკვეთრი დაცემა განპირობებულია სისტემის მიზნობრივი ფუნქციის მიღწევის აუცილებლობაში. ეს უკანასკნელი, როგორც წესი, არის ერთი ან ორი.

თავი 2. შედეგები და მათი განსჯა

2.1. მრავალფუნქციური ციფრული გამზომი ხელსაწყოების გამოყენება SCADA სისტემებში

მრავალი ათეული წლის განმავლობაში უამრავ დარგში იყენებდნენ და იყენებენ კონტროლისა და მართვის ანალოგურ სისტემებს. მიუხედავად ამისა, დღეს წარმოების თითქმის ყველა სფეროში წინა პლანზე იწევს გამოყენების თვალსაზრისით საიმედო, მოქნილი და მოხერხებული ციფრული მართვის ტექნოლოგიები. დღეისათვის სადავო არ არის ის ამბავი, რომ „დაპირისპირებაში“ ინფორმაციის დამუშავების ანალოგურ და ციფრულ ფორმებს შორის სრული გამარჯვება მოიპოვა ციფრულმა ტექნოლოგიამ [31]. მიუხედავად ამისა, ჯერ კიდევ არის ტექნიკის სფეროები, სადაც ინფორმაციის დამუშავების ანალოგური სისტემები კვლავ ინარჩუნებენ წამყვან პოზიციებს. ასეთ სფეროს შეიძლება მივაკუთვნოთ ელექტროენერგეტიკა. არსებული სიტუაცია, პირველ რიგში, განპირობებულია ანალოგური სისტემების ტრადიციულობით. ტრადიციულობა მომსახურე პერსონალისათვის იმდენად მყარი ფსიქოლოგიური მომენტიცაა, რომ ინჟინერ-დამმუშავებლები ზოგჯერ ცდილობენ, ციფრული სისტემები ისე ააგონ, რომ მომხმარებელს რჩება შთაბეჭდილება, თითქოს ექსპლუატაციას უწევდეს ანალოგურ სისტემას.

კონტროლისა და მართვის ციფრულ სისტემებს აქვს რიგი უპირატესობანი ანალოგურ სისტემებთან შედარებით, კერძოდ:

- დიდი ფუნქციური შესაძლებლობები;
- მაღალი საიმედოობა;
- ექსპლუატაციის უფრო დაბალი ღირებულება;
- მცირე გაბარიტები;
- დიდი საექსპლუატაციო მოქნილობა;
- აღჭურვილობის უფრო მაღალი ხანგამძლეობა;
- ინფორმაციის რეალურ დროში არქივირება;

- უფრო მარტივი ტექნიკური მომსახურება;
- სისტემის გადაწყობის უნარი პროგრამული უზრუნველყოფის საშუალებით;
- დისტანციური კონტროლი და მართვა;
- და მრავალი სხვა.

ანალოგურ სისტემებს გააჩნიათ საკმაოდ შეზღუდული სამომხმარებლო ფუნქციათა ნაკრები და არ შეუძლიათ ფუნქციური გადაწყობით უპასუხონ მასში შემოსულ ინფორმაციის ნაკადს. ანალოგურ სისტემებში არ არის ფუნქციური გაფართოების რესურსი, შეუძლებელია მწარმოებლის მიერ „დაპროგრამირებული“ არქიტექტურის შეცვლა. ციფრულ სისტემებს აქვს ფართო და, რაც მთავარია, გაფართოებადი ფუნქციური შესაძლებლობები. სრულებით საკმარისია სისტემის მწარმოებლისაგან მიღებული იქნას პროგრამის ახალი ვერსია და მომხმარებელს უჩნდება სისტემის ახალი შესაძლებლობების ერიოზული კაპიტალდაბანდების გარეშე.

რაც შეეხება ციფრული სისტემის (და მათ შორის SCADA სისტემების) კომპონენტების მულტიფუნქციურობას, როგორც წესი, სისტემის კომპონენტი - ციფრული მოდული საშუალებას იძლევა ერთ კონსტრუქციულ ერთეულში შევათავსოთ მრავალი მსგავსი დანიშნულების ანალოგური მოდულის ფუნქცია, რაც, რომ არაფერი ვთქვათ მის ტექნიკურ მაჩვენებლებზე, მნიშვნელოვნად ზრდის მოდულის ეკონომიკურ მაჩვენებლებსაც.

კონტროლისა და მართვის ციფრული სისტემის უპირველესი მოვალეობაა უწყვეტი მონიტორინგის განხორციელება ტექნოლოგიურ პარამეტრებზე. ეს პარამეტრები არქივირდება და გამოიყენება საჭიროების შემთხვევაში (მაგალითად, ავარიული სიტუაციის ანალიზისათვის). ტრადიციულად ავარიული სიტუაციის ანალიზი ხდება ავარიის შედეგების მიხედვით, რაც ცხადია, ვერ იძლევა დამაკმაყოფილებელ შედეგებს ავარიის გამომწვევი მიზეზების შესახებ. მართვის ციფრული სისტემების მონიტორინგის შედეგები საშუალებას გვაძლევს არა მარტო უფრო დეტალურად

გავეცნოთ ავარიის შედეგებს, აგრეთვე დავაკვირდეთ თუ როგორი იყო საავარიო სიტუაციის დინამიკა რეალურ დროში. ამდენად, დასკვნების გამოტანისათვის გაცილებით დიდი მოცულობის ინფორმაციაა დასამუშავებელი, რომელიც ხელეწიფებათ ანალიტიკური აზროვნების მქონე ინჟინრებს.

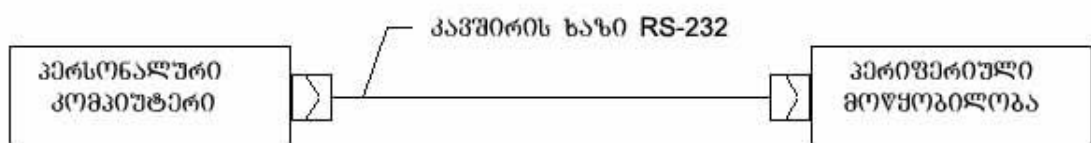
როდესაც საუბარია ტექნოლოგიური პარამეტრების უწყვეტ მონიტორინგზე, უკანასკნელ პერიოდში მკვეთრად გაიზარდა მრავალფუნქციური ციფრული გამზომი ხელსაწყოების (მფცხ-ების) წარმოება და მრავალფეროვნება. ისინი ფუნქციონალური შესაძლებლობებით მკვეთრად აღემატებიან ტრადიციულ ციფრულ გამზომ ხელსაწყოებს, რის გამოც [32]:

- გამზომ სისტემაში მნიშვნელოვნად იზრდება გაზომილი პარამეტრების რაოდენობა;
- მნიშვნელოვნად მცირდება გამზომი სისტემის ღირებულება, რადგან გასაზომი პარამეტრების რაოდენობის გადათვლა ნაკლებად ხარჯიანია;
- გამზომ სისტემაში შესაძლებელი ხდება RS-485 ინტერფეისის და Modbus პროტოკოლის გამოყენება, რაც მნიშვნელოვნად ამაღლებს სისტემის სწრაფქმედებას, ვინაიდან აღნიშნული პროტოკოლი ეფუძნება კლიენტ-სერვერ არქიტექტურას და შემცირებულია ამოკითხვადი ციფრული მოწყობილობების რაოდენობა.

მრავალფუნქციური ციფრული გამზომი ხელსაწყოების ნაკლოვანებად შეიძლება ჩაითვალოს ის ფაქტი, რომ მათ ეკრანებზე აისახება გასაზომი პარამეტრების შეზღუდული რაოდენობა, ხოლო თავად ეკრანის ფუნქციონალური შესაძლებლობა არ აკმაყოფილებს ერგონომიულობის მოთხოვნებს [33]. აქედან გამომდინარე, ტექნოლოგიური პროცესების კონტროლისა და მართვის სისტემებში შეუძლებელია მხოლოდ გამზომი ხელსაწყოების ეკრანზე გამოსახულ ინფორმაციაზე დაყრდნობა და აუცილებელი ხდება ინფორმაციის ასახვის თანამედროვე და უფრო ერგონომიული საშუალებების გამოყენება, რაზეც საუბარია შემდეგ ქვეთავში.

მრავალფუნქციური ციფრული გამზომი ხელსაწყოების უმეტესობას გააჩნია RS-485 ინტერფეისის და Modbus პროტოკოლის მხარდაჭერა [34]. RS-485 მონაცემების გადაცემის ფართოდ გავრცელებული, სწრაფი და შეფერხებამდეგი მიმდევრობითი ინტერფეისია. თითქმის ყველა თანამედროვე სამრეწველო კომპიუტერს, ინტელექტუალურ გადამწოდს, შემსრულებელი მოწყობილობების უმეტესობას და პროგრამირებად ლოგიკურ კონტროლერებს ტრადიციულ RS-232 ინტერფეისთან ერთად გააჩნია RS-485 ინტერფეისის ამა თუ იმ რეალიზაციის მხარდაჭერა.

წარმოების ავტომატიზაციაში ტრადიციული RS-232 ინტერფეისი საკმაოდ იშვიათად გამოიყენება. ამ ინტერფეისის სიგნალების ძაბვა არის 3-15 ვ, იგი შეფერხებებისადმი დაბალი მედეგობით გამოირჩევა, ამიტომ კავშირის არხის სიგრძე, როგორც წესი, რამდენიმე მეტრს არ აღემატება. RS-232 ინტერფეისი ყველა პერსონალურ კომპიუტერს გააჩნია. ამჟამად იგი ნაკლებად გამოიყენება, ხოლო ძველი მოდელის კომპიუტერებში იგი ძირითადად მაუსის, მოდემის და სხვა მსგავსი მოწყობილობების მიერთებისთვის, ხოლო უფრო იშვიათად ერთი კომპიუტერიდან მეორეზე მონაცემების გადაცემისთვის გამოიყენებოდა. RS-232 ინტერფეისი გადაცემის მიმდევრობით პრინციპს იყენებს (ნახ. 2.1.). 5-8 ბიტთან მონაცემს წინ უსწრებს სასტარტო ბიტი, ხოლო მონაცემის გადაცემა მთავრდება არააუცილებელი ლუწობის ბიტით და სტოპ-ბიტებით. RS-232 ინტერფეისი ქსელის შექმნის საშუალებას არ იძლევა, რადგან კომპიუტერთან მხოლოდ 1 მოწყობილობას აკავშირებს. [35]



ნახ. 2.1. RS-232 ინტერფეისის გადაცემის პრინციპი

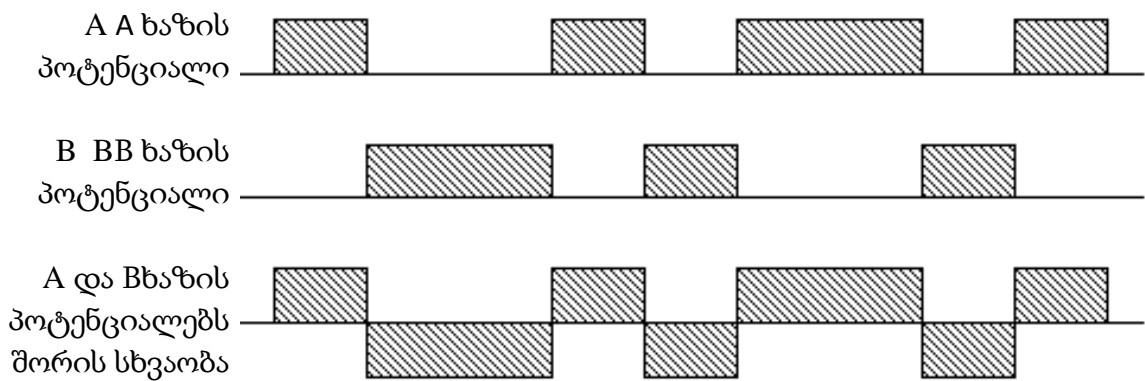
RS-485 ინტერფეისის სიგნალების ძაბვა 0,2-8 ვ-ია და იგი მონაცემთა გადაცემის დიფერენციალურ პრინციპს იყენებს, რაც შეფერხებებისადმი

მაღალ მედეგობას განაპირობებს. კავშირის არხის სიგრძე 1 კმ-ს აღწევს (სპეციალური მოწყობილობების - გამამეორებლების გამოყენების შემთხვევაში კავშირის არხის სიგრძე კიდევ უფრო მეტად შეიძლება გაიზარდოს). გარდა ამისა, RS-485 ინტერფეისი მრავალი მოწყობილობის ერთ ფიზიკურ არხთან პარალელური მიერთების (ე.წ. "მულტიპლექსური სალტე") შედეგად ქსელის შექმნის საშუალებას იძლევა.

როგორც უკვე ვთქვით, RS-485 ინტერფეისი მონაცემთა გადაცემისთვის დიფერენციალურ (დაბალანსებულ) გადაცემის პრინციპს იყენებს. ეს ნიშნავს ერთი სიგნალის ორი გამტარით გადაცემას. ერთი გამტარით (პირობითად A) ორიგინალური სიგნალი გადაიცემა, ხოლო მეორე გამტარით (პირობითად B) - ძაბვის ინვერსიული მნიშვნელობა. სხვა სიტყვებით რომ ვთქვათ, თუ ერთ გამტარში გადის "1", მეორეში გაივლის "0" და პირიქით. ამგვარად, ორ გამტარს შორის ყოველთვის აქვს ადგილი პოტენციალთა სხვაობას. ლოგიკური "1"-ის შემთხვევაში პოტენციალი დადებითია, ხოლო ლოგიკური "0"-ის შემთხვევაში - უარყოფითი.

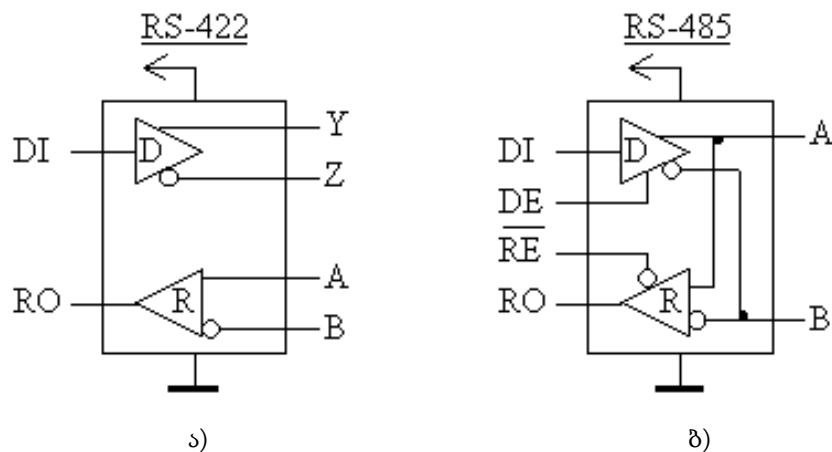
სიგნალის გადაცემა სწორედ პოტენციალების სხვაობით ხდება (ნახ. 2.2.). გადაცემის ამგვარი მეთოდი სინფაზური შეფერხებებისადმი მაღალ მედეგობას უზრუნველყოფს. სინფაზური არის შეფერხება, რომელიც ორივე გამტარზე ერთნაირად მოქმედებს. მაგალითად, კავშირის ხაზის გარკვეულ მონაკვეთზე გამავალი ელექტრომაგნიტური ტალღა ორივე გამტარში ერთი და იგივე პოტენციალს აღძრავს. თუ სიგნალი პოტენციალის მეშვეობით ერთ გამტარში გადის, როგორც ეს ხდება RS-232 ინტერფეისში, მაშინ ამ გამტარში პოტენციალის აღძვრამ შეიძლება სიგნალი დაამახინჯოს. გარდა ამისა, დამიწების გრძელ გამტარზე ზემოქმედებს მიწის პოტენციალთა სხვაობა, რაც დამახინჯების კიდევ ერთი წყაროა. დიფერენციალური გადაცემისას დამახინჯებას ადგილი არ აქვს. თუ ორი გამტარი ახლოსაა ერთმანეთთან და გრეხილ წყვილს წამოადგენს, პოტენციალი ორივე გამტარზე თანაბრად იცვლება [36]. აქედან გამომდინარე, პოტენციალების ინფორმატიული განსხვავება უცვლელია.

RS-485-ის ანალოგიური მუშაობის პრინციპი გააჩნია RS-422 ინტერფეისსაც, თუმცა მათ შორის არის ერთი განსხვავება: RS-422 სრულდუპლექსური ინტერფეისია - მიღება და გადაცემა გამტარების ორი განცალკევებული წყვილით ხორციელდება [37]. გამტარების თითოეულ წყვილზე მხოლოდ ერთი გადამცემი შეიძლება იყოს ჩართული. RS-485 ნახევრადდუპლექსური ინტერფეისია - მიღება და გადაცემა გამტარების ერთი წყვილით, დროითი დაყოფის რეჟიმში ხორციელდება. ქსელში მრავალი გადამცემი შეიძლება იყოს ჩართული, რადგან ისინი მიღების რეჟიმში ამოერთვებიან.



ნახ. 2.2. RS-485 ინტერფეისის გადაცემის პრინციპი

ნახ. 2.3-ზე წარმოდგენილია RS-422 (ა) და RS-485 (ბ) სალტის მაფორმირებლები.



ნახ.2.3. RS-422 (ა) და RS-485 (ბ) სალტის მაფორმირებლები

D (driver) - გადამცემი;

R (receiver) - მიმღები;

DI (driver input) - გადამცემის ციფრული შესასვლელი;

RO (receiver output) - მიმღების ციფრული გამოსასვლელი;

DE (driver enable) - გადამცემის მუშაობის ნებართვა;

RE (receiver enable) - მიმღების მუშაობის ნებართვა;

A - პირდაპირი დიფერენციალური შესასვლელი/გამოსასვლელი

B - ინვერსიული დიფერენციალური შესასვლელი/გამოსასვლელი

Y - პირდაპირი დიფერენციალური გამოსასვლელი (RS-422)

Z - ინვერსიული დიფერენციალური გამოსასვლელი (RS-422)

მიმღები დიფერენციალურ შესასვლელებზე (AB) პოტენციალთა სხვაობას (U_{AB}) იღებს და RO გამოსასვლელზე ციფრულ სიგნალად გარდაქმნის. მიმღების მგრძობელობა განსხვავებული შეიძლება იყოს, მაგრამ სიგნალის ამოცნობის გარანტირებულ ზღვრულ დიაპაზონს მიკროსქემების მწარმოებლები დოკუმენტაციაში უთითებენ. როგორც წესი, ზღვრულია დიაპაზონია ~ 200 mB ანუ როდესაც $U_{AB} > +200$ mB, მიმღები განსაზღვრავს "1"-ს, ხოლო როდესაც $U_{AB} < -200$ mB, განისაზღვრება "0". თუ პოტენციალთა სხვაობა იმდენად მცირეა, რომ ზღვრულ მნიშვნელობას არ აჭარბებს, მაშინ სიგნალის სწორად ამოცნობა გარანტირებული არ არის. გარდა ამისა, ხაზში შეიძლება იყოს არასინფაზური ხმაური, რაც სუსტ სიგნალს დაამახინჯებს.

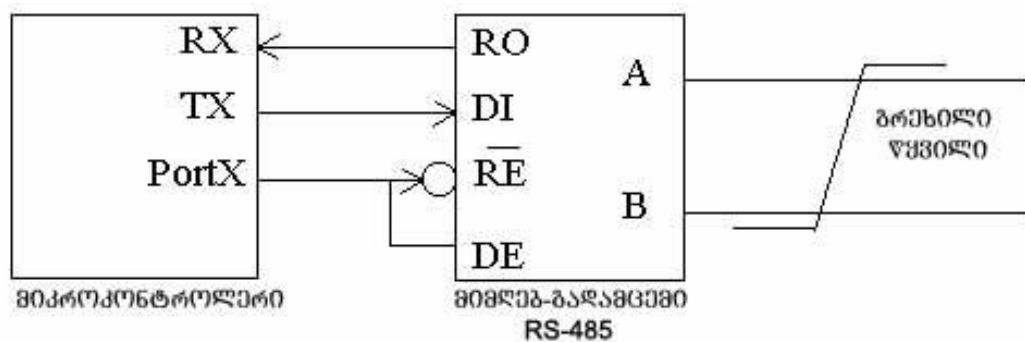
ყველა მოწყობილობა ერთ გრეხილ წყვილს ერთნაირად უერთდება - პირდაპირი გამოსასვლელები (A) ერთ გამტარს, ხოლო ინვერსიულები (B) - მეორეს.

მიმღების შემავალი წინაღობა ხაზის მხრიდან, როგორც წესი, 12 კომ-ია. გადამცემის სიმძლავრე უსაზღვრო არ არის, რაც ხაზთან მიერთებული მიმღები მოწყობილობების რაოდენობას ზღუდავს. RS-485-ის სპეციფიკაციის თანახმად, გადამცემს შემათანხმებული რეზისტორების გათვალისწინებით 32-მდე მიმღებთან მუშაობა შეუძლია. მიუხედავად ამისა,

ზოგიერთ მიკროსქემას მომატებული შემავალი წინაღობა გააჩნია, რაც 32-ზე ბევრად მეტი მოწყობილობის მიერთების საშუალებას იძლევა.

RS-485-ის სპეციფიკაციის მიხედვით კავშირის მაქსიმალური სიჩქარე 10 მბ/წმ-ს აღწევს, ხოლო მაქსიმალური დაცილებაა 1200 მ. თუ კავშირის ორგანიზება 1200 მ-ზე მეტ მანძილზეა აუცილებელი, ან უფრო მეტი მოწყობილობა უნდა შეერთდეს, მაშინ სპეციალურ გამამეორებლებს (რეპიტერებს) იყენებენ [38].

მიმღების ციფრული გამოსასვლელი (RO) მიმღების UART (RX) პორტთან ერთდება, ხოლო გადამცემის ციფრული შესასვლელი (DI) - გადამცემის UART (TX) პორტთან. RS-485-ის დიფერენციალურ მხარეზე მიმღები და გადამცემი ერთმანეთთანაა შეერთებული, რის გამოც მიღებისას გადამცემი უნდა გამოირთოს, ხოლო გადაცემისას - მიმღები. ამ ფუნქციას მმართველი შესასვლელები - „მიმღების ნებართვა“ (RE) და „გადამცემის ნებართვა“ (DE) ასრულებს. RE შესასვლელი ინვერსიულია, ამიტომ ის შეიძლება DE-ს მიუერთდეს და მიმღები და გადამცემი კონტროლერის ნებისმიერი პორტიდან ერთი სიგნალით გადაირთოს. ლოგიკური "0"-ის მიწოდების შემთხვევაში მაფორმირებელი მიღებაზე მუშაობს, ხოლო "1"-ის შემთხვევაში - გადაცემაზე (ნახ. 2.4).



ნახ. 2.4. RS-485 მიმღებ-გადამცემის დაკავშირება მიკროკონტროლერთან

RS-422/RS-485 ინტერფეისებზე საუბარს დავასრულებთ მათი ძირითადი პარამეტრების ჩამოთვლით (ცხრილი 2.1).

ცხრილი 2.1. RS-422/RS-485 ინტერფეისების ძირითადი პარამეტრები

პარამეტრი	RS-422	RS-485
გადამცემების/მიმღებების დასაშვები რაოდენობა	1/10	32/32
კაბელის მაქსიმალური სიგრძე	1200მ	1200მ
კავშირის მაქსიმალური სიჩქარე	10მბ/წმ	10მბ/წმ
გადამცემის "1" ძაბვის დიაპაზონი	+2...+10ვ	+1,5...+6ვ
გადამცემის "0" ძაბვის დიაპაზონი	-2...-10ვ	-1,5...-6ვ
გადამცემის სინფაზური ძაბვის დიაპაზონი	-3...+3ვ	-1...+3ვ
მიმღების ძაბვის დასაშვები დიაპაზონი	-7...+7ვ	-7...+12ვ
მიმღების მგრძობელობის ზღვრული დიაპაზონი	±200მვ	±200მვ
მოწყობილობის მოკლე ჩართვის მაქსიმალური დენი	150 მა	250მა
გადამცემის დატვირთვის მაქსიმალური წინაღობა	100 ო	54 ო
მიმღების შემავალი წინაღობა	4 კო	12 კო
გადამცემის სიგნალის აღძვრის მაქსიმალური დრო	ბიტის 10%	ბიტის 30%

კონტროლის და მართვის ავტომატიზებულ სისტემებში და მათ შორის SCADA სისტემებში გამოყენებულ მრავალფუნქციურ ციფრული გამზომი ხელსაწყოების უმეტესობას RS-485 ინტერფეისის გარდა გააჩნია მონაცემთა გადაცემის Modbus პროტოკოლის მხარდაჭერა [39]. საკომუნიკაციო პროტოკოლი Modbus ეფუძნება კლიენტი-სერვერი არქიტექტურას. ის დღესდღეობით ფართოდ გავრცელებული პროტოკოლია, რომელიც გვხვდება სხვადასხვა სამრეწველოში სისტემებში. Modbus პროტოკოლი ხშირად გამოიყენება მონაცემების გადაცემისთვის მიმდევრობითი ინტერფეისების მეშვეობით, როგორც არის RS-485, RS-422 და RS-232 [40]. განვითარების პირველ ეტაპზე უფრო ხშირად გამოიყენებოდა RS-232, როგორც მონაცემების მიმდევრობითი გადაცემის ერთ-ერთი ყველაზე მარტივი სამრეწველო ინტერფეისი, ხოლო დღესდღეობით უფრო ხშირად გამოიყენება RS-485 ინტერფეისი, რის მიზეზებზეც ზემოთ უკვე ვისაუბრეთ. RS-485 ინტერფეისი საშუალებას გვაძლევს მივადწიოთ მონაცემთა გადაცემის მაღალ სიჩქარეს, მოწყობილობების ფართო დაშორებას და

მრავალი მოწყობილობის გაერთიანებას ერთ ქსელში, მით უმეტეს, რომ Modbus პროტოკოლს გააჩნია დამისამართების მხარდაჭერა.

Modbus პროტოკოლის დამახასიათებელი ნიშანია ქსელში ერთი წამყვანი ანუ master მოწყობილობის არსებობა. მხოლოდ წამყვან მოწყობილობას შეუძლია მოთხოვნა გაუგზავნოს ქსელის დანარჩენ მოწყობილობებს, რომლებიც არიან დაქვემდებარებული ანუ slave მოწყობილობები. დაქვემდებარებულ მოწყობილობას არ შეუძლია მონაცემების გადაცემის წამოწყება ან რომელიმე სხვა მოწყობილობისთვის მონაცემების მოთხოვნა. ქსელი მუშაობს პრინციპით “მოთხოვნა-პასუხი”. წამყვან მოწყობილობას ასევე შეუძლია ქსელში ჩართულ ყველა მოწყობილობას გაუგზავნოს მრავლის-მაუწყებელი მოთხოვნა, რა დროსაც საპასუხო შეტყობინება არ იგზავნება. აქვე აღსანიშნავია, რომ წამყვანი მოწყობილობა, როგორც წესი, აერთიანებს წამყვან (HOST) პროცესორს და პროგრამირების პანელს, ხოლო ტიპიური დაქვემდებარებული მოწყობილობა არის პროგრამირებადი კონტროლერი [41].

Modbus პროტოკოლის ორი ძირითადი სახესხვაობა არსებობს: Modbus ASCII და Modbus RTU [42]. მომხმარებელი აუცილებელ რეჟიმს (კონტროლერის მიერ მხარდაჭერილი რეჟიმიდან გამომდინარე) და სხვა პარამეტრებს (მაგალითად, მონაცემების გადაცემის სიჩქარეს, პარიტეტის რეჟიმს და სხვ.) თითოეული კონტროლერის კონფიგურაციის მომენტში ირჩევს.

Modbus პროტოკოლში მონაცემთა პაკეტი ასე გამოიყურება:

მისამართი/ფუნქციის კოდი/მონაცემები/საკონტროლო ჯამი

მისამართის ველში გვხვდება მოწყობილობის ნომერი, რომელსაც ეგზავნება მოთხოვნა. ქსელში ჩართულ თითოეულ მოწყობილობას აუცილებელია გააჩნდეს უნიკალური მისამართი. კონკრეტული მოწყობილობა, კონფლიქტების თავიდან არიდების მიზნით, მხოლოდ იმ მოთხოვნებს პასუხებს, რომელიც მისი მისამართით არის გაგზავნილი. ამავდროულად, დაქვემდებარებული მოწყობილობის პასუხში მისამართის ველი კვლავ

გვხვდება, თუ არ ჩავთვლით მრავლისმაუწყებელ მოთხოვნას, როდესაც დაქვემდებარებული მოწყობილობის პასუხი საერთოდ არ არის საჭირო. **ფუნქციის კოდი** შეიცავს Modbus ფუნქციის ნომერს. ფუნქცია შეიძლება ითხოვდეს მონაცემებს ან გზავნიდეს ბრძანებას გარკვეული მოქმედების შესრულების თაობაზე. ფუნქციის კოდების რიცხვითი დიაპაზონია 1-დან 127-მდე, ხოლო დანარჩენი ნომრები დარეზერვებულია. **მონაცემების ველში** გვხვდება წამყვანი მოწყობილობის მიერ დაქვემდებარებული მოწყობილობისთვის გადაცემული ინფორმაცია ან პირიქით. ამ ველის სიგრძე დამოკიდებულია გადაცემული მონაცემების სახეობაზე. **საკონტროლო ჯამის ველი** პროტოკოლის მნიშვნელოვანი კომპონენტია, რადგან აქ გვხვდება ინფორმაცია, რომელიც აუცილებელია შეტყობინების მთლიანობის გადამოწმებისა და შეცდომების გამორიცხვისთვის. RS-232/RS-485 ქსელებში Modbus მონაცემთა პაკეტის მაქსიმალური ზომაა 256 ბაიტი [43].

2.2. თანამედროვე ვიდეოინტერფეისების კვლევა

ვიდეოინტერფეისი ერთმანეთთან აკავშირებს ვიდეოადაპტერს და მონიტორს ან დისპლეის. წლების განმავლობაში შეიქმნა პერსონალური კომპიუტერის და მონიტორის რამდენიმე ინტერფეისი. მათ შორის ზოგიერთი ანალოგური იყო, ხოლო სხვები – ციფრული. ძველ პერსონალურ კომპიუტერებში (80-იან წლებში) გამოიყენებოდა ვიდეოინტერფეისები EGA, MDA და HCG. ყველა მათგანი ციფრული ინტერფეისი იყო [44].

მომველებული ციფრული ვიდეოინტერფეისებისგან განსხვავებით, შედარებით თანამედროვე და ფართოდ გავრცელებული VGA სტანდარტი ანალოგურია. როგორც ხედავთ, ინდუსტრიამ ციფრული ინტერფეისებიდან ანალოგურ ინტერფეისებზე გადაინაცვლა, ასე გაგრძელდა 20 წელზე მეტი და შემდეგ კვლავ დაუზბრუნდით ციფრულ სისტემებს. რამ გამოიწვია ყოველივე ეს? ამ კითხვის მარტივი პასუხი გახლავთ ის, რომ ანალოგური

ინტერფეისი თავის დროზე მაქსიმალურად იაფი იყო და CRT მონიტორებზე საკმაოდ მაღალ გარჩევადობას (რეზოლუციას) უზრუნველყოფდა ფერების საკმაოდ დიდი არჩევანით. მოგვიანებით ტექნოლოგიები გაუმჯობესდა, CRT მონიტორები LCD მონიტორებმა ჩაანაცვლა და აზრი მიეცა ისევ და ისევ ციფრულ ინტერფეისებთან დაბრუნებას.

80-იანი წლებიდან მოყოლებული პერსონალურ კომპიუტერებში გამოიყენებოდა და გამოიყენება შემდეგი ვიდეოინტერფეისები [45]:

- VGA;
- DVI;
- HDMI;
- DisplayPort.

როგორც უკვე ვახსენეთ, VGA ანალოგური ინტერფეისია, ხოლო დანარჩენები – ციფრული.

ჩვენი ნაშრომის მიზნებიდან გამომდინარე, ფართოეკრანიანი ტელევიზორებისთვის, ვიდეოთამაშებისთვის, DVD პლეერებისთვის და სახლის კინოთეატრებისთვის განკუთვნილ HDMI-ის და ჯერ კიდევ ფართოდ გაუვრცელებელ DisplayPort ინტერფეისებს გვერდს ავუვლით და ყურადღებას გავამახვილებთ მხოლოდ VGA და DVI ინტერფეისებზე.

კომპანია IBM-მა VGA ინტერფეისი და სტანდარტი 1987 წლის 2 აპრილს გამოიტანა დღის სინათლეზე კომპიუტერების PS/2 სერიასთან ერთად. VGA სტანდარტი თავდაპირველად აერთიანებდა ვიდეოადაპტერს, მონიტორს და მათ დამაკავშირებელ არხს, თუმცა შემდეგ ვიდეოადაპტერების და მონიტორების ტექნოლოგია განვითარდა, ხოლო VGA-ის 15-წვერიანი, ანალოგური კავშირი უცვლელი დარჩა [46]. ეს გახლავთ ყველაზე პოპულარული ვიდეოინტერფეისი, რომელიც თანამედროვე პერსონალური კომპიუტერის ვიდეოადაპტერებისა და მონიტორებისთვის წარმატებით გამოიყენება.

VGA ანალოგური ინტერფეისია. ის CRT მონიტორის ფერების ქვემეხს თითოეული ფერისთვის ცალკე სიგნალს უგზავნის, თუმცა სიგნალს

შიდლება ჰქონდეს ინტენსიურობის 65 დონე (აქ საუბარია ორიგინალურ VGA სტანდარტზე). ასეთი მეთოდით ვიღებთ 262144 (64³) შესაძლო ფერს, რომელთაგან 265 ერთდროულად შიდადება გამოისახოს ეკრანზე.

VGA ინტერფეისს გააჩნია 15-წვერიანი, ანალოგური გასართი, რომელსაც აქვს სხვადასხვა რეჟიმების მხარდაჭერა. კავშირი ანალოგურია, ვინაიდან VGA თავდაპირველად განკუთვნილი იყო ანალოგური მოწყობილობებისთვის და მათ შორის CRT მონიტორებისთვის. როდესაც მონიტორი და ვიდეოადაპტერი VGA ინტერფეისით ერთდება, პერსონალური კომპიუტერიდან წამოსულ ციფრულ სიგნალებს ვიდეოადაპტერის DAC (Digital-To-Analog Converter) სქემა ანალოგურ სიგნალებად გარდაქმნის და სწორედ აღნიშნული სიგნალები მიეწოდება მონიტორს ანალოგური VGA ინტერფეისის მეშვეობით.

ორიგინალური VGA სტანდარტი გასართისა და ელექტრული ინტერფეისის გარდა განსაზღვრავდა გამოსახულების რამდენიმე ტექსტურ და გრაფიკულ რეჟიმს სხვადასხვა გადაწყვეტუნარიანობითა და ფერით. ორიგინალური VGA სტანდარტით მაქსიმალური გადაწყვეტუნარიანობა იყო 640X480 მხოლოდ 16 (4-ბიტანი) ფერით, ვინაიდან ორიგინალური ვიდეოადაპტერების 256 კილობაიტანი ოპერატიული მეხსიერება მეტის საშუალებას არ იძლეოდა. კომპანია IBM-მა VGA-ის შედარებით მაღალი გადაწყვეტუნარიანობის მქონე ვერსიები XGA და XGA-2 90-იანი წლების დასაწყისში წარმოადგინა, მაგრამ მათ ფართო გავრცელება ვერ ჰპოვეს [47].

VGA ინტერფეისის მიმართვა VGA BIOS პროგრამული უზრუნველყოფის მეშვეობით ხდებოდა. ეს პროგრამას საშუალებას აძლევდა გამოეყენებინა სხვადასხვა ბრძანებები და ფუნქციები, რომლებიც ნებისმიერ აპარატურულ საშუალებასთან იმუშავებდა, თუ მას გააჩნდა თავსებადი VGA BIOS-ი. VGA სტანდარტის პირველ ვიდეოადაპტერებს VGA BIOS-ი პირდაპირ ადაპტერზე ჰქონდათ, ჩაწერილი იყო რა 16 ან 32 კილობაიტანი კოდი ROM მიკროსქემაში. თანამედროვე ვიდეოადაპტერებს კვლავ გააჩნიათ 32 კილობაიტანი ჩაშენებული BIOS-ი, თუმცა ის მხოლოდ მაშინ

გამოიყენება, როდესაც მომხმარებელი DOS-ის პროგრამებს და თამაშებს იყენებს ან Windows-ის გარემოში მუშაობს Safe Mode რეჟიმში.

IBM-ის ორიგინალური VGA სტანდარტის კლონირება ვიდეოადაპტერების სხვა მწარმოებლებმა სწრაფად მოახდინეს. ისინი თავიანთი პროდუქტის გამორჩევის მიზნით ვიდეოადაპტერებს სხვადასხვა რეჟიმებსა თუ შესაძლებლობებს მატებდნენ და უწოდებდნენ Super VGA ანუ SVGA ადაპტერებს. 1989 წელს ვიდეოადაპტერების და მონიტორების კონკურენტმა მწარმოებლებმა გადაწყვიტეს ახალი SVGA პარამეტრებისგან სამრეწველო სტანდარტი შემოეღოთ, რათა ის თავსებადი ყოფილიყო VGA-ისთვის შექმნილ პროგრამულ თუ აპარატურულ უზრუნველყოფასთან. იმავე წლის თებერვალში დაფუძნდა საერთაშორისო არაკომერციული ორგანიზაცია Video Electronic Standards Association (VESA), რომლის დანიშნულება იყო მონიტორებისა და ვიდეოადაპტერების წარმოების სფეროში ღია სტანდარტების ჩამოყალიბება და პოპულარიზაცია. 1989 წლის აგვისტოში VESA-მ ჩამოაყალიბა პირველი სტანდარტი - 800X600 გადაწყვეტუნარიანობა 4-ბიტისანი პიქსელით (16 ფერით), რომელსაც მალევე დაემატა 1024X768 გადაწყვეტუნარიანობა 8-ბიტისანი პიქსელით. აღნიშნული სტანდარტების საფუძველზე კომპანიებს შეეძლოთ დამოუკიდებლად შეექმნათ ვიდეოაპარატურა, რომელსაც საერთო ექნებოდა პროგრამული ინტერფეისი. სწორედ ასე გაჩნდა ორიგინალურ VGA სტანდარტზე მაღალი გადაწყვეტუნარიანობის მხარდამჭერი ვიდეოადაპტერები, რომლებიც სრულიად თავსებადი იყო არსებულ VGA სტანდარტთან. აქედან მოყოლებული VESA-მ განავრცო SVGA სტანდარტი და შემოიღო ახალი რეჟიმები თუ გადაწყვეტუნარიანობები. აქვე აღსანიშნავია, რომ SVGA და VGA სტანდარტის გასართები არ განსხვავდება და ორივე 15-წვერიანია.

როგორც უკვე ვთქვით, პერსონალური კომპიუტერის მონიტორების ბაზარი გასული წლების განმავლობაში მნიშვნელოვნად შეიცვალა, ჩაენაცვლა რა დიდ და მოუხერხებელ CRT მონიტორებს LCD მონიტორები. დღესდღეობით LCD მონიტორები გაყიდვების თვალსაზრისით მკვეთრად

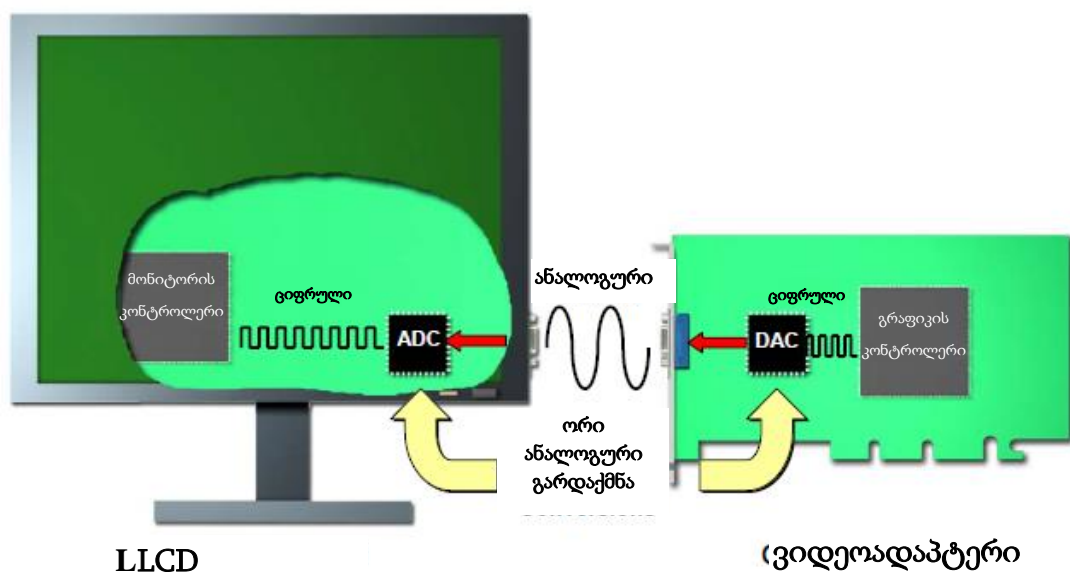
აღმატება CRT მონიტორებს. ივარაუდება, რომ 2007 წლისთვის ბაზარზე LCD მონიტორების წილი დაახლოებით 80% იქნება. LCD მონიტორები, CRT მონიტორებისგან განსხვავებით, ციფრული მოწყობილობებია, რის გამოც აუცილებელი არ არის ციფრული სიგნალების ანალოგურ სიგნალებად გარდაქმნა და შემდეგ კვლავ ციფრულ ფორმაში დაბრუნება. სწორედ ასე ხდება CRT მონიტორების შემთხვევაში, რაც სრულიად უსარგებლოა და ამასთანავე უარყოფით გავლენას ახდენს გამოსახულების ხარისხზე.

ციფრული მონიტორების და მათ შორის LCD მონიტორების პოპულარობის ზრდამ შექმნა ახალი ციფრული ინტერფეისის აუცილებლობა. 1998 წელს დაფუძნდა Digital Display Working Group (DDWG), რომელსაც უნდა აღმოეფხვრა შემოთავაზებული ციფრული ინტერფეისების ნაკლოვანებები და შეემუშავებინა უნივერსალური ციფრული ინტერფეისი, რაც თავის მხრივ ხელს შეუწყობდა ბაზარზე ანალოგური მოწყობილობების ციფრული მოწყობილობებით ჩანაცვლებას. ამ ჯგუფში თავდაპირველად გაერთიანდნენ კომპანიები Fujitsu, Compaq, HP, IBM, Intel, NEC და Silicon Image.

DDWG-მ 1999 წლის აპრილში გამოუშვა სპეციფიკაცია Digital Visual Interface (DVI) 1.0, ხოლო კომპანია Silicon Image-მა შექმნა Transition Minimized Differential Signaling (TMDS) ტექნოლოგია. ეს უკანასკნელი გახლავთ DVI ინტერფეისის საფუძვლად დადებული პროტოკოლი [48]. სწორედ TMDS პროტოკოლის მეშვეობით ხერხდება ციფრული მონაცემების იაფად და სწრაფად გადაცემა ერთარხიანი კონფიგურაციის პირობებში. გარდა ამისა, გამტარუნარიანობის გაზრდის მიზნით შესაძლებელია ორარხიანი კონფიგურაციის გამოყენებაც.

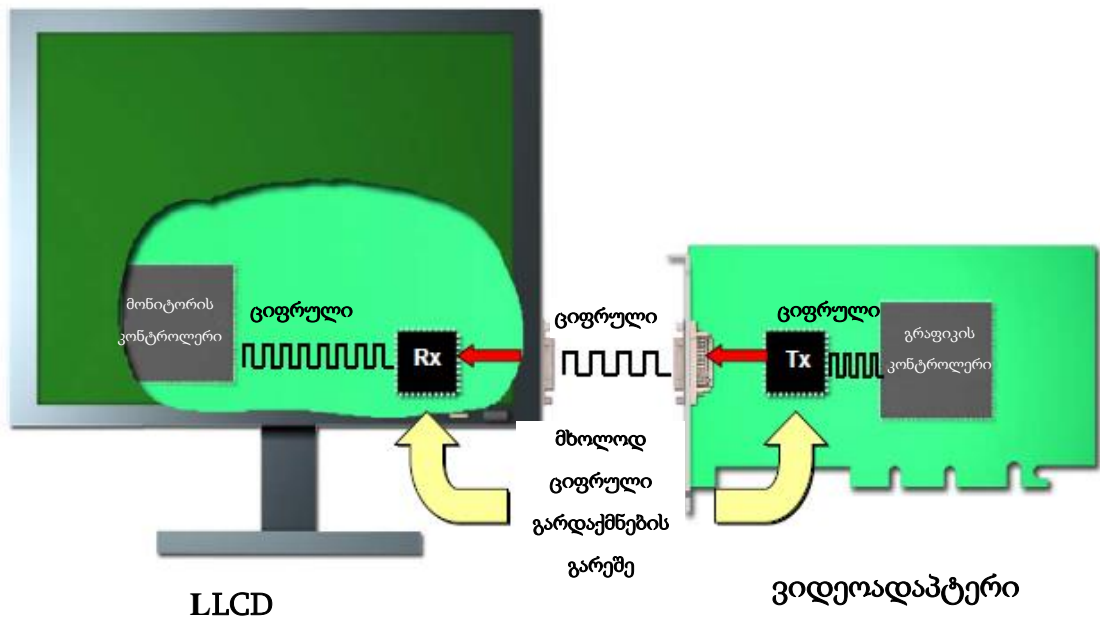
ვიდრე უშუალოდ DVI სტანდარტის და მონაცემთა გადაცემის პროტოკოლის აღწერაზე გადავალთ, რამდენიმე სიტყვა უნდა ითქვას ციფრულ (DVI) და ანალოგურ (VGA) ინტერფეისებს შორის განსხვავებასა და ციფრული ინტერფეისის უპირატესობაზე. ციფრული ინტერფეისი მრავალი თვალსაზრისით უმჯობესია ანალოგურ ინტერფეისზე, ძირითადი კი

გახლავთ ის, რომ ნებისმიერი ვიდეოადაპტერი და LCD მონიტორი არსებითად ციფრული მოწყობილობაა. რაც შეეხება CRT მონიტორს, მას ანალოგური შესასვლელები აქვს, რომ გამოც პერსონალური კომპიუტერის ვიდეოადაპტერი იძულებულია ციფრული მონაცემები ანუ 0-ებისა და 1-ების ერთობლიობა ანალოგურ ძაბვებად გარდაქმნას და ისე მიაწოდოს CRT მონიტორს. აღნიშნულ გარდაქმნას ასრულებს DAC (Digital-To-Analog Converter) მიკროსქემა. თუ LCD მონიტორსაც ანალოგური შესასვლელები გააჩნია, მაშინ გარდაქმნის პროცესი კიდევ უფრო გართულდება, კერძოდ პერსონალური კომპიუტერი იძულებული იქნება ციფრული მონაცემები ანალოგურ მონაცემებად გარდაქმნას, ხოლო ანალოგური მონაცემების მიმღები LCD მონიტორი იგივე მონაცემებს ADC (Analog-To-Digital Converter) მიკროსქემის მეშვეობით კვლავ 0-ებად და 1-ებად (ციფრულ მონაცემებად) გადააქცევს (ნახ. 2.5). ამ მიდგომის მთელი ნაკლოვანება გახლავთ ის, რომ გარდაქმნების პროცესში გამოსახულების ხარისხი უარესდება [49]. მაგალითად, ტექსტი ან რაიმე სხვა უძრავი გამოსახულება შეიძლება აციმციდეს ან ამოძრავდეს. გარდა ამისა, ანალოგური ინტერფეისი ნაკლებად არის დაცული შეცდომებისა და ხმაურისგან. დაბოლოს, ანალოგურიდან ციფრულზე და საპირისპირო მიმართულების გარდაქმნები მონიტორს დამატებით და სრულიად არასაჭირო ღირებულებას მატებს.



ნახ. 2.5. ციფრულიდან ანალოგურზე და საპირისპირო მიმართულების გარდაქმნა

ვითარება მკვეთრად მარტივდება, თუ ვიყენებთ TMDS გადამცემს (Tx), TMDS მიმღებს (Rx) და ციფრულ მონაცემებს ვიდეოადაპტერიდან პირდაპირ LCD მონიტორის ციფრულ შესასვლელებს ვაწვდით (ნახ. 2.6). ამ შემთხვევაში მონაცემების გარდაქმნა აუცილებელი არ არის და ხარვეზების აღბათობაც იკლებს.



ნახ. 2.6. მხოლოდ ციფრული ინტერფეისი

ციფრული ინტერფეისი DVI უზრუნველყოფს მონაცემთა გადაცემის საიმედოობას ყოველგვარი გარდაქმნების გარეშე. ის გვთავაზობს საუკეთესო ხარისხის გამოსახულებას და ამცირებს ანალოგური სიგნალის მხარდაჭერისთვის აუცილებელი კომპონენტების ხარჯებს. გარდა ამისა, DVI მხარს უჭერს უაღრესად დიდ გადაწყვეტუნარიანობებს, როგორც არის 3840X2400 (9,2 მეგაპიქსელი). საბოლოო ჯამში, DVI ერთ-ერთი ყველაზე პოპულარული ინტერფეისია ვიდეოადაპტერისა და LCD მონიტორის დასაკავშირებლად [50].

DVI გასართი Molex MicroCross სტანდარტისაა და მისი რამდენიმე სახესხვაობა არსებობს. DVI სტანდარტი უპირატესად ციფრული მოწყობილობების მხარდაჭერისთვის შეიქმნა, თუმცა თავსებადობის მიზნით

ანალოგური მოწყობილობების მხარდაჭერაც გააჩნია. DVI-D (Digital) გასართი მხოლოდ ციფრულ მოწყობილობებთან ერთდება, ხოლო DVI-I (Integrated) გასართი შეიძლება მიერთდეს როგორც ციფრულ, ასევე ანალოგურ მოწყობილობებთან დამატებითი წვერების მეშვეობით. DVI-D და DVI-I გასართებს შორის ერთადერთი განსხვავება არის ის, რომ DVI-I გასართს გააჩნია დამატებითი წვერები ანალოგური სიგნალების გადაცემისთვის.

DVI ინტერფეისი იყენებს Transition Minimized Differential Signaling (TMDS) პროტოკოლს, რომელიც შეიმუშავა კომპანია Silicon Image [51]. DVI ინტერფეისის ერთი არხი მოიცავს შემდეგ ოთხ კომპონენტს (ნახ. 2.7):

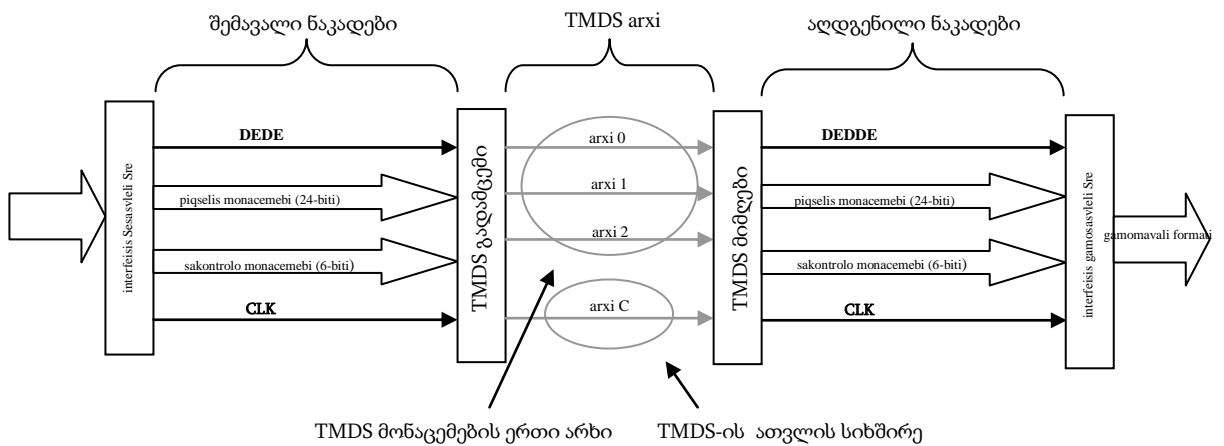
1. TMDS გადამცემი (Tx)
2. TMDS მიმღები (Rx)
3. DVI გასართი
4. DVI კაბელი



ნახ. 2.7. DVI ინტერფეისის ძირითადი კომპონენტები

LCD მონიტორზე თითოეული პიქსელის ანთებას სამი ძირითადი ფერი (წითელი, მწვანე და ლურჯი) სჭირდება. თითოეული ფერი კოდირებულია 8 ბიტის მეშვეობით, რაც 256 განსხვავებულ გრადაციას გვაძლევს. თუ თითოეული ფერის 256 გრადაციას ერთმანეთზე გადავამრავლებთ, მივიღებთ 16 მილიონ ფერს, რომელიც ეკრანზე შეიძლება გამოისახოს.

ვიდეოადაპტერი გრაფიკული მონაცემების 24 ბიტს (8 ბიტს თითოეული ძირითადი ფერისთვის) პარალელური ფორმით აწვდის TMDS გადამცემს. TMDS გადამცემი შემავალი მონაცემების ნაკადს შიფრავს და მიმღევე-რობითი ფორმით გადასცემს TMDS მიმღებს TMDS არხის მეშვეობით (ნახ. 2.8). აღნიშნული მონაცემები დაბალანსებული (დიფერენციალური) სალტე-ების მეშვეობით მაღალი სიჩქარით მიეწოდება TMDS მიმღებს. ერთარხიანი TMDS კავშირი იყენებს მონაცემების ოთხ დიფერენციალურ გრეხილ წყვილს, მათ შორის სამი ფერისთვის არის განკუთვნილი, ხოლო მეოთხე გრეხილი წყვილით გადაიცემა საკონტროლო მონაცემები და სინქროსიგ-ნალი. გარდა ამისა, გამოიყენება მეხუთე გრეხილი წყვილი (სურათზე ნაჩვენები არ არის), რომელსაც Display Data Channel (DDC) ეწოდება. აღნიშ-ნული სალტით გადაიცემა ვიდეოადაპტერის და მონიტორის საიდენტი-ფიკაციო თუ საკონფიგურაციო ინფორმაცია, როგორც არის მხარდაჭე-რილი რეზოლუციების და ფერთა გამების ჩამონათვალი.



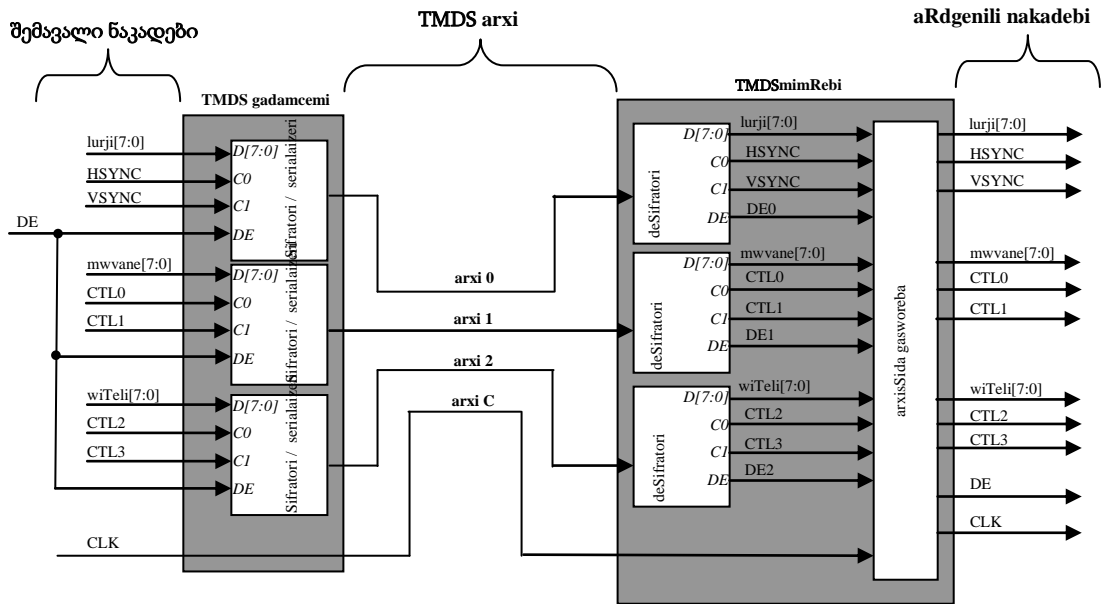
ნახ. 2.8. TMDS არხის არქიტექტურა

ვინაიდან TMDS პროტოკოლის მიხედვით ფერის მონაცემები (10-ბიტიან სიტყვად კოდირებული 8 ბიტი) 165 მჰც სიხშირით გადაიცემა, თითოეული სალტის გამტარუნარიანობა დაახლოებით არის 1,65 გეგა-ბიტი/წმ, ხოლო TMDS არხის ჯამური გამტარუნარიანობა – 4,95 გეგა-ბიტი/წმ. ამავდროულად, რადგან მონაცემები 8ბ/10ბ კოდირების მეთოდით

იგზავნება, ყოველი 10 ბიტიდან მხოლოდ 8 არის რეალური მონაცემი და შესაბამისად, TMDS არხის მაქსიმალური გამტარუნარიანობა არის 3,96 გეგაბიტი/წმ. ერთარხიანი DVI კავშირის მიერ მხარდაჭერილი მაქსიმალური გადაწყვეტუნარიანობაა WUXGA (1920X1200). თუ მომხმარებელს აღწერილი მონაცემები არ აკმაყოფილებს და საჭიროა მეტი გამტარუნარიანობა, DVI სტანდარტს გააჩნია ორი არხის მხარდაჭერა. ორარხიანი DVI იყენებს სამ დამატებით გრეხილ წყვილს თითოეული ფერისთვის, ხოლო სინქროსიგნალი და DDC სიგნალები ორივე არხისთვის საერთოა. ორარხიანი DVI-ის შემთხვევაში მაქსიმალური გამტარუნარიანობა არის 7,92 გეგაბიტი/წმ, ხოლო მაქსიმალური გადაწყვეტუნარიანობა – WQUXGA (3840X2400). TMDS პროტოკოლით DVI კაბელის სიგრძე შეზღუდულია და 10მ-ს აღწევს, თუმცა ზღვარი შეიძლება იყოს მეტი ან ნაკლები კაბელის ხარისხის გათვალისწინებით.

TMDS არხის შემავალი ნაკადი აერთიანებს პიქსელების და საკონტროლო მონაცემებს. TMDS გადამცემი პიქსელის ან საკონტროლო მონაცემებს შიფრავს, რაც DE (DataEnable) სიგნალის მდგომარეობაზეა დამოკიდებული. თუ DE სიგნალი აქტიურია, მაშინ გადაიცემა პიქსელის მონაცემები. TMDS გადამცემი საკონტროლო (პიქსელის) მონაცემებს უგულველყოფს, როდესაც პიქსელის (საკონტროლო) მონაცემები უნდა გადაიცეს. TMDS მიმღები აღადგენს პიქსელის (საკონტროლო) მონაცემებს და გადასცემს მხოლოდ მაშინ, როდესაც DE სიგნალი აქტიურია (არ არის აქტიური).

TMDS გადამცემი შეიცავს სამ იდენტურ შიფრატორს (ნახ. 2.9). თითოეული შიფრატორი მართავს TMDS მონაცემების ერთ მიმდევრობით არხს. ყოველ შიფრატორზე შედის საკონტროლო სიგნალების 2 ბიტი და პიქსელის მონაცემების 8 ბიტი. შიფრატორი, DE სიგნალზე დაყრდნობით, საკონტროლო სიგნალების 2 ბიტისგან ან პიქსელის მონაცემების 8 ბიტისგან ქმნის 10-ბიტაან TMDS სიტყვას. 10-ბიტაანი სიტყვები მიმდევრობითი ფორმით და უწყვეტად მიეწოდება TMDS მიმღებს.

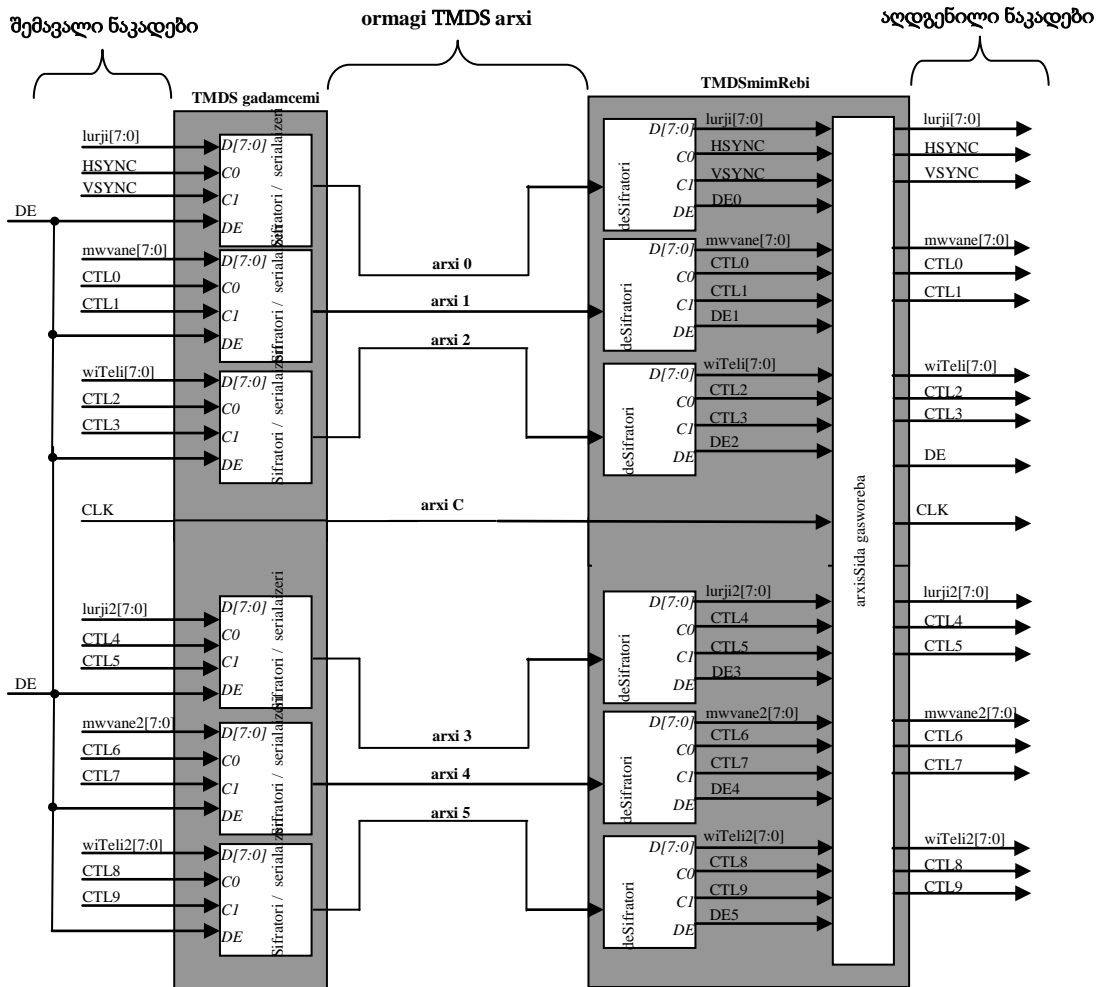


ნახ. 2.9. ერთარხიანი TMDS

ყველა საკონტროლო სიგნალი, თუ არ ჩავთვლით ჰორიზონტალურ სინქრონიზაციას ($HSYNC$ -ს) და ვერტიკალურ სინქრონიზაციას ($VSYNC$ -ს), დარეზერვებულია. საკონტროლო სიგნალები $CTL1$, $CTL2$ და $CTL3$ გადამცემის შესასვლელზე ლოგიკურ ნოლზე დგას. რეკომენდირებულია $CTL0$ სიგნალის განოლება, თუმცა ზოგიერთი გადამცემი საკონტროლო სიგნალს სწორედ $CTL0$ -ის მეშვეობით გადასცემს.

ორარხიანი TMDS გადამცემი, ერთარხიანისგან განსხვავებით, მონაცემების სამ დამატებით არხს აერთიანებს (ნახ. 2.10). ამ შემთხვევაში პირველი TMDS გადამცემის მეშვეობით გადაიცემა გამოსახულების თითოეული ჰორიზონტალური სტრიქონის კენტი პიქსელები, ხოლო მეორე TMDS გადამცემის მეშვეობით – გამოსახულების თითოეული ჰორიზონტალური სტრიქონის ლუწი პიქსელები.

რაც შეეხება სინქროსიგნალის (CLK სიგნალის) არხს, მასში გადის TMDS სიტყვების გადაცემის სიხშირის ათვლის წერტილი, რომლის საფუძველზე TMDS მიმღების სინქრონიზაცია ხდება შემავალი მონაცემების მიმდევრობითი ნაკადისთვის.

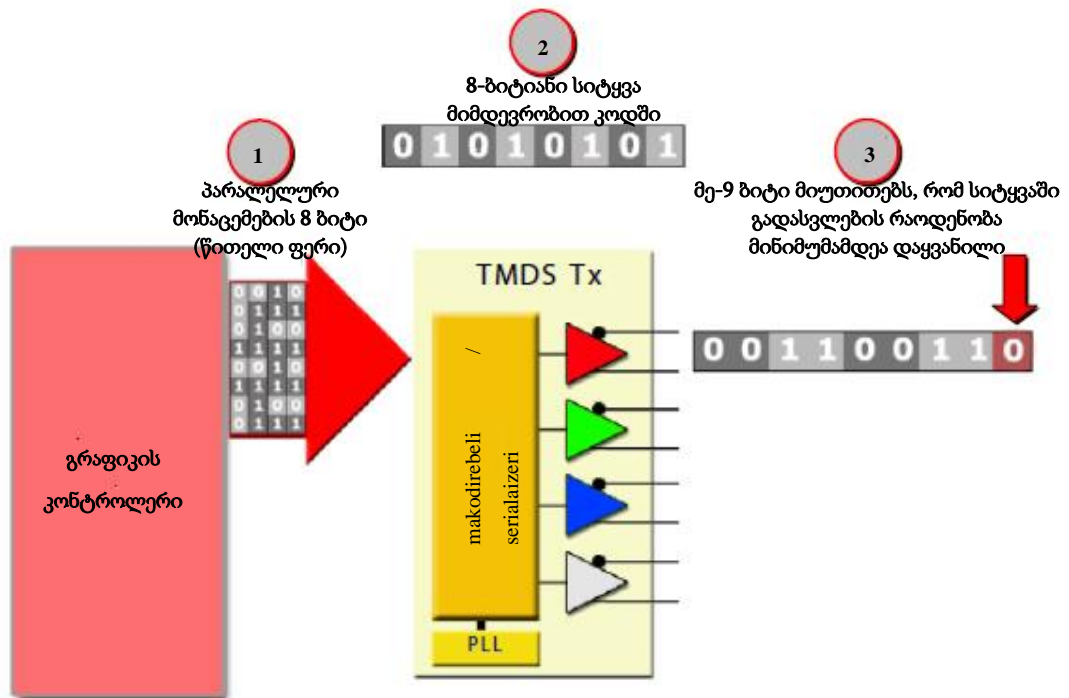


ნახ. 2.10. ორარხიანი TMDS

ჩვენ უკვე ვახსენეთ, რომ TMDS გადამცემი ვიდეო ან აუდიო მონაცემების 8 ბიტს ან საკონტროლო სიგნალების ორ ბიტს 10-ბიტთან სიტყვად გარდაქმნის, რომელშიც შემცირებულია გადასვლების რაოდენობა და დაბალანსებულია მუდმივი დენის ნაკადი. ეს ყოველივე ერთი შეხედვით კონტრპროდუქტიულია, ვინაიდან არხებით გადაცემული ბიტების რაოდენობა იზრდება, მაშინ როდესაც მონაცემების რაოდენობა იგივეა. სინამდვილეში, დახვეწილი ალგორითმის მეშვეობით წარმოქმნილი 10-ბიტანი სიტყვა გრძელი და იაფი სპილენძის კაბელების მეშვეობით ბევრად საიმედოდ გადაიცემა. საწყის 8-ბიტთან სიტყვაში 1-დან 0-ზე ან 0-დან 1-ზე გადასვლების დიდი რაოდენობა რადიოსიხშირულ გამოსხივებებს იწვევს, ხოლო გადასვლების რაოდენობის შემცირება გამოსხივებას

ამცირებს. აქედან გამომდინარე, ნაკლებია მომხმარებლის ელექტრონულ მოწყობილობებს შორის ინტერფერენციის რისკი.

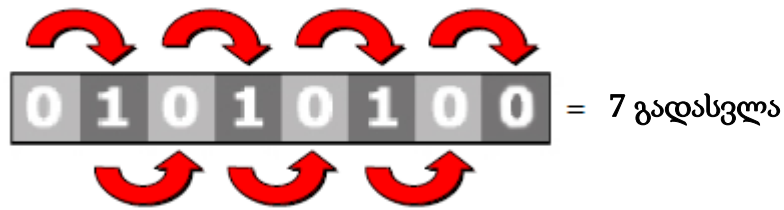
განვიხილოთ გადასვლების რაოდენობის მინიმუმაციის კონკრეტული მაგალითი, როდესაც ვიდეოადაპტერი წითელი ფერის მონაცემების 8 ბიტს პარალელური კოდით გადასცემს. გადასვლების რაოდენობის მინიმუმაცია სამი ეტაპისგან შედგება (ნახ. 2.11):



ნახ. 2.11. გადასვლების რაოდენობის მინიმუმამდე დაყვანა

1. პარალელური მონაცემების 8 ბიტი მიეწოდება TMDS გადამცემს;
2. TMDS გადამცემი მონაცემებს მიმდევრობით კოდში გარდაქმნის;
3. გადასვლების რაოდენობა მინიმუმამდეა დაყვანილი და სიტყვას ემატება მეცხრე ბიტი შიფრის აღსანიშნავად.

ჩვენ ნიმუშად ვიღებთ ყველაზე უარეს ვარიანტს (7 გადასვლას), როდესაც ყოველი შემდგომი ბიტი წინა ბიტისგან განსხვავებულია (ნახ. 2.12).



ნახ. 2.12. მეტისმეტად დიდი რაოდენობით გადასვლები

TMDS ალგორითმი გადასვლების რაოდენობას სამამდე ამცირებს და სიტყვას კოდირების აღსანიშნავად მე-9 ბიტს ამატებს (ნახ. 2.13).



ნახ. 2.13. გადასვლების მინიმუმამდე დაყვანილი რაოდენობა

რაც შეეხება მუდმივი დენის დაბალანსებას, კაბელში 0-ების ან 1-ების წყების მაღალი სიჩქარით გადაცემა იწვევს კაბელის დამუხტვას. ნახ. 2.14-ზე სურათზე ნაჩვენებია 1-ების გრძელი წყება. სიმარტივის მიზნით კოდირების მე-9 და მე-10 ბიტები გამოტოვებულია.



ნახ. 2.14. მონაცემთა სიტყვებში 1-ების წყების ნიმუში

კაბელის დამუხტვა მონაცემის შეცვლას (0-დან 1-ზე ან პირიქით) ხელს უშლის და შესაბამისად იწვევს მონაცემების დამახინჯებას. აღნიშნული პრობლემის აღმოფხვრის მიზნით გამოიყენება მუდმივი დენის დაბალანსების მეთოდი, რომელიც მონაცემთა სიტყვების ზოგიერთ ბიტს

ინვერსიას უკეთებს და შემდეგ ამ ბიტს ინვერტირებულად აღნიშნავს. მაგალითად ავიღოთ 8-ბიტიანი სიტყვა გადასვლების ნულოვანი რაოდენობით (ნახ. 2.15)



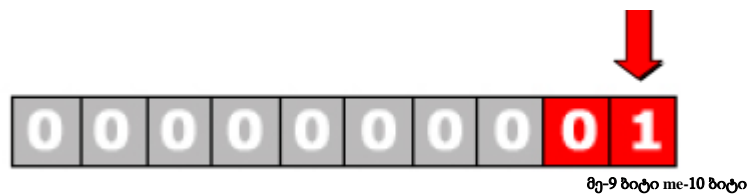
ნახ. 2.15. საწყისი სიტყვა

მე-9 ბიტი აღნიშნავს, რომ ვინაიდან ბიტებს შორის გადასვლები არ გვხვდება, გადასვლების რაოდენობის მინიმუმამდე დაყვანა აუცილებელი არ არის (ნახ. 2.16)



ნახ. 2.16. შემთხვევა, როდესაც გადასვლების რაოდენობის მინიმუმამდე დაყვანა აუცილებელი არ არის

სიტყვის მე-10 ბიტი პოლარობის შეცვლას აღნიშნავს (ნახ. 2.17)



ნახ. 2.17. მუდმივი დენის დაბალანსების მაკოდირებული ბიტი

ნახ. 2.18-ზე მოყვანილ მონაცემთა სიტყვებში მუდმივი დენი დაბალანსებულია, ხოლო სიმარტივის მიზნით მე-9 და მე-10 ბიტები გამოტოვებულია



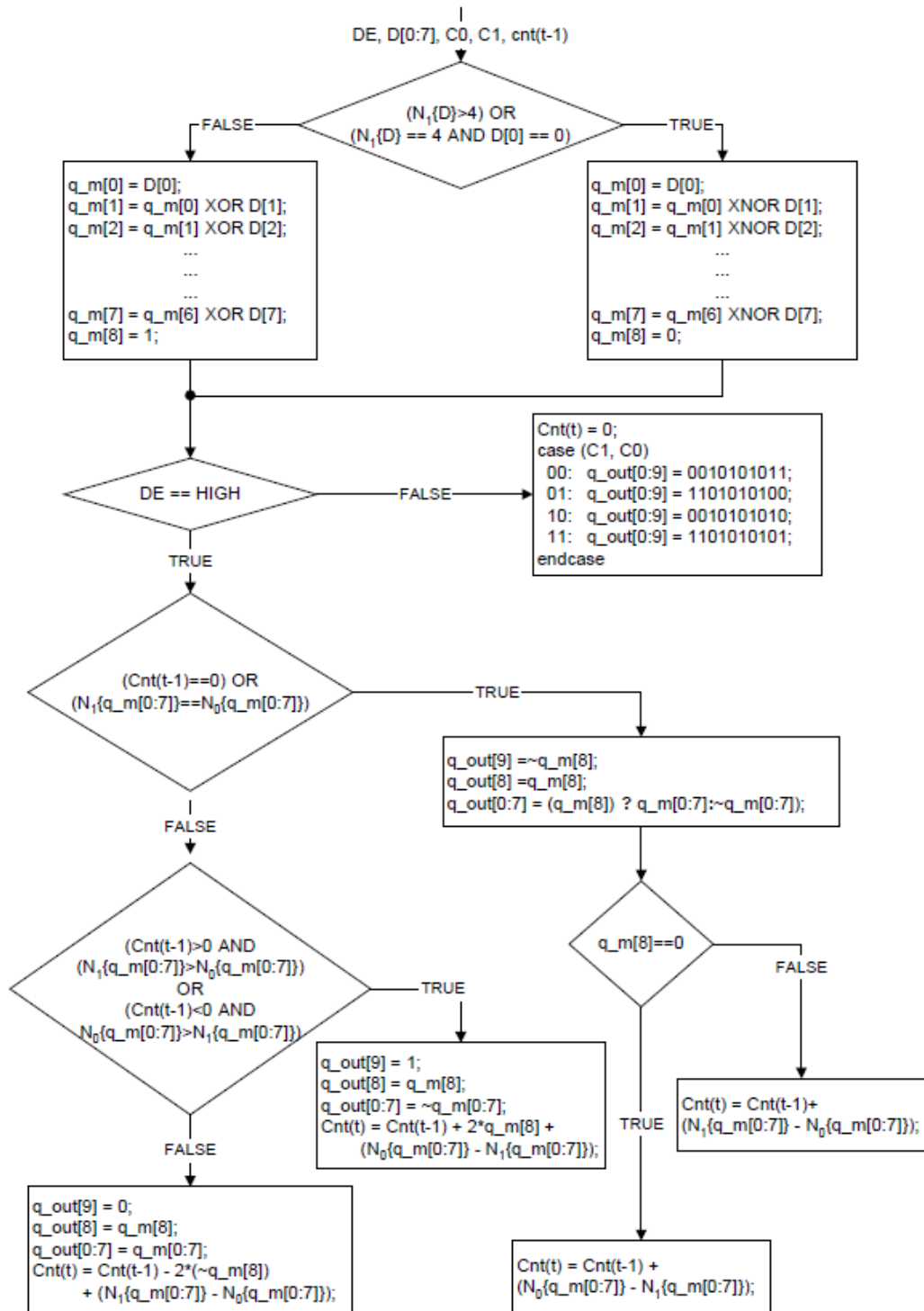
ნახ. 2.18. მონაცემთა სიტყვები დაბალანსებული მუდმივი დენით

TMDS მიმღები, ცხადია, განსაზღვრავს სიტყვებს შორის არსებულ საზღვრებს მონაცემთა მიმღევრობით ნაკადში. მონაცემთა გადაცემის ყველა არზე სიტყვების საზღვრების შემოღების შემდეგ TMDS მიმღები მონაცემთა მიმღევრობის ნაკადისადმი სინქრონულად მუშაობს. პიქსელის მონაცემების აღმნიშვნელ TMDS სიტყვებში 5 ან ნაკლები გადასვლაა, ხოლო საკონტროლო მონაცემების აღმნიშვნელ TMDS სიტყვებში – 7 ან მეტი გადასვლა. სწორედ გადასვლების რაოდენობის მიხედვით ახერხებს შიფრატორი სიტყვების საზღვრების დადგენას.

გადასვლების რაოდენობის მინიმუმამდე დაყვანა და მუდმივი დენის დაბალანსება მონაცემთა გადაცემის სიჩქარის გაზრდის საშუალება იძლევა, თუმცა აუცილებელია კავშირის არხის რადიოსიხშირული გამოსხივებებისა და სხვა ელექტრული ხმაურისგან უკეთესი დაცვა. ამ მიზნით გამოიყენება მონაცემთა გადაცემის დიფერენციალური (დაბალანსებული) პრინციპი. ჩვეულებრივ შემთხვევაში ციფრული სიგნალი ანუ 0-ების და 1-ების წყება ერთი გამტარის მეშვეობით გადაიცემა, ხოლო მონაცემთა გადაცემის დიფერენციალური პრინციპი ნიშნავს ერთი სიგნალის ორი გამტარით გადაცემას. ერთი გამტარით ორიგინალური სიგნალი გადაიცემა, ხოლო მეორე გამტარით – ძაბვის ინვერსიული მნიშვნელობა. ამგვარად, ორ გამტარს შორის ყოველთვის ადგილი აქვს პოტენციალთა სხვაობას და სიგნალის გადაცემა სწორედ პოტენციალების სხვაობით ხდება. თუ ორი გამტარი ახლოსაა ერთმანეთთან და გრეხილ წყვილს წარმოადგენს, სინფაზური ანუ ორივე გამტარზე ერთნაირად მოქმედი შეფერხება ორივე გამტარში ერთი და იგივე პოტენციალს აღძრავს. თუ გავითვალისწინებთ, რომ სიგნალი პოტენციალთა სხვაობის მეშვეობით გადაიცემა, პოტენციალი ორივე გამტარზე თანაბრად იცვლება და შესაბამისად, პოტენციალთა ინფორმატიული განსხვავება უცვლელია.

TMDS გადამცემის (შიფრატორის) მიერ 10-ბიტისანი სიტყვების კოდირების ალგორითმი ნაჩვენებია ნახ. 2.19-ზე ხოლო განმარტებები მოყვანილია 2.2 ცხრილში. შიფრატორი საკონტროლო სიგნალების 2 ბიტისგან

ქმნის ოთხ შესაძლო 10-ბიტის სიტყვას, ხოლო გრაფიკული მონაცემების გადაცემის პერიოდში ერთმანეთისგან განსხვავებული და შესაძლო 10-ბიტის სიტყვების რაოდენობა არის 460. სხვა 10-ბიტის სიტყვების გამოყენება ნებადართული არ არის.



ნახ. 2.19. TMDS სიტყვის კოდირების ალგორითმი

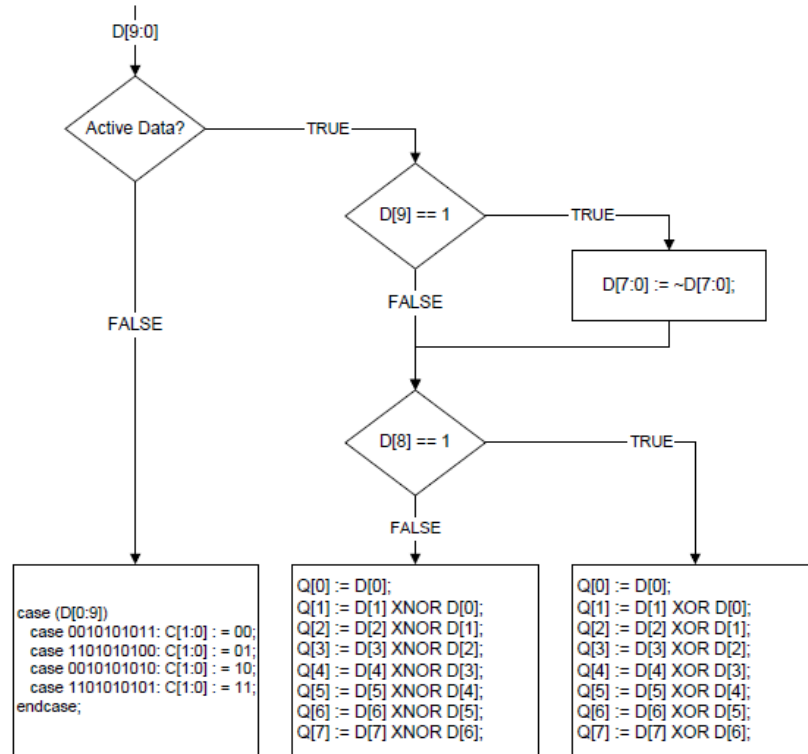
ცხრილი 2.2. კოდირების ალგორითმის განმარტებები

D, C0, C1, DE	შიფრატორზე შემავალი მონაცემები. D – 8 ბიტი პიქსელის მონაცემები; C1 და C0 – საკონტროლო მონაცემები; DE – Data Enable სიგნალი
cnt	მონაცემების ნაკადის არათანაბრობის მაკონტროლებელი რეგისტრი. დადებითი მნიშვნელობა მიუთითებს გადაცემულ მონაცემებში 1-ების სიმრავლეზე, ხოლო უარყოფითი მნიშვნელობა – 0-ების სიმრავლეზე. $cnt\{t - 1\}$ აღნიშნავს არათანაბრობის მნიშვნელობას შემავალი მონაცემების წინა ნაკადისთვის, ხოლო $cnt(t)$ არათანაბრობის მნიშვნელობას შემავალი მონაცემების მიმდინარე ნაკადისთვის
q_out	კოდირებული 10-ბიტიაანი სიტყვა
$N_1\{x\}$	ოპერატორ იაბრუნებს “1”-ს “x” არგუმენტის ნაცვლად
$N_0\{x\}$	ოპერატორი აბრუნებს “0”-ს “x” არგუმენტის ნაცვლად

შიფრატორის მიერ კოდირებული TMDS სიტყვები მიმდევრობით ფორმით გადაიცემა TMDS არხის მეშვეობით. თითოეული სიტყვის უმცირესი ბიტი ($q_out[0]$) პირველი გადაცემული ბიტია.

TMDS დეშიფრატორის მიერ მიღებული მონაცემების დეშიფრაციის ალგორითმი ნაჩვენებია ნახ. 2.20-ზე.

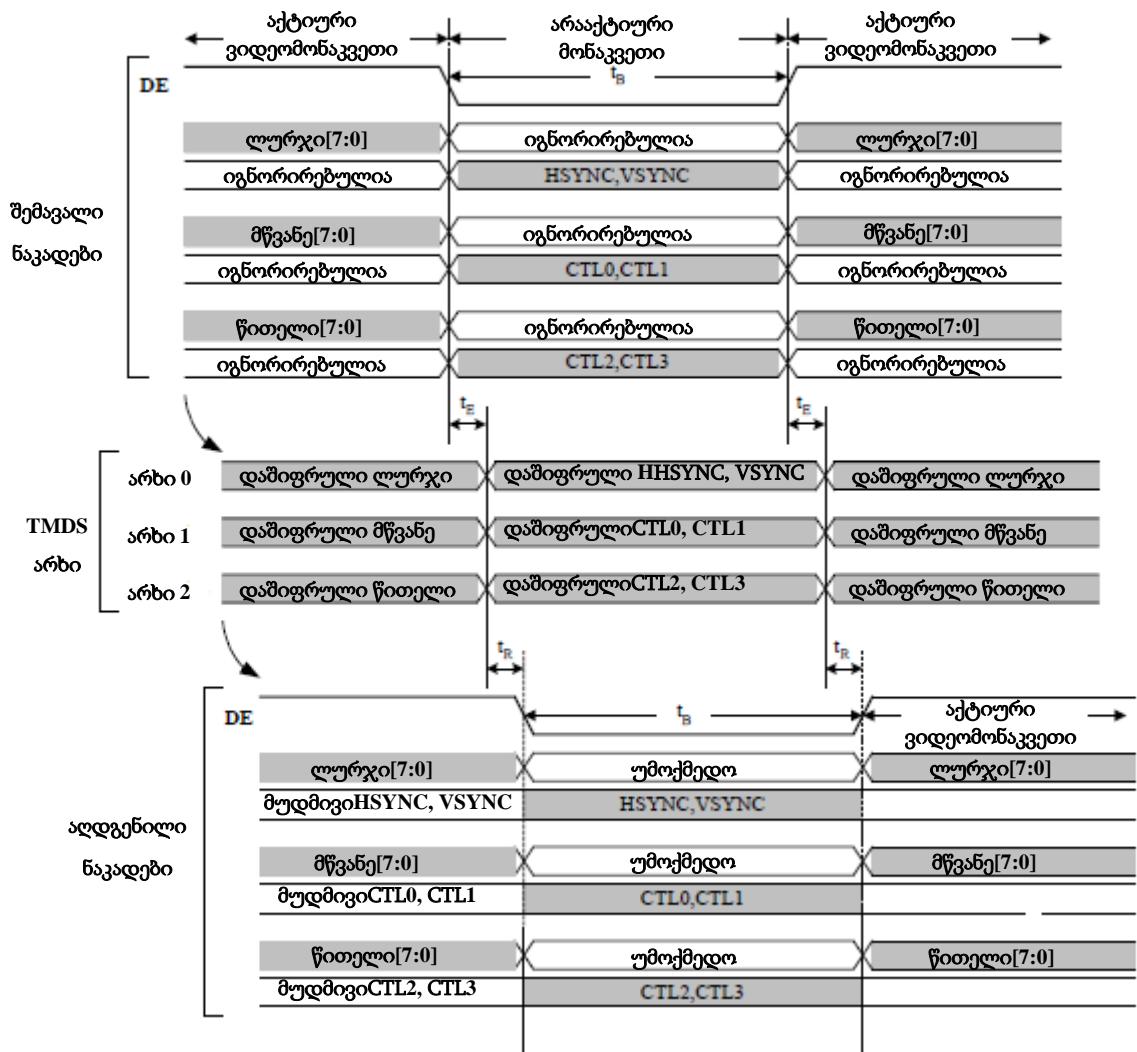
მონაცემების დაშიფვრის, მიმდევრობით კოდში გადაყვანისა და დეშიფრაციისთვის აუცილებელი მაქსიმალური დრო განსაზღვრულია (ნახ. 2.21).



ნახ. 2.20. TMDS სიტყვის დემიფრაციის ალგორითმი

ცხრილი 2.3. TMDS არხის დროითი პარამეტრების აღწერილობა

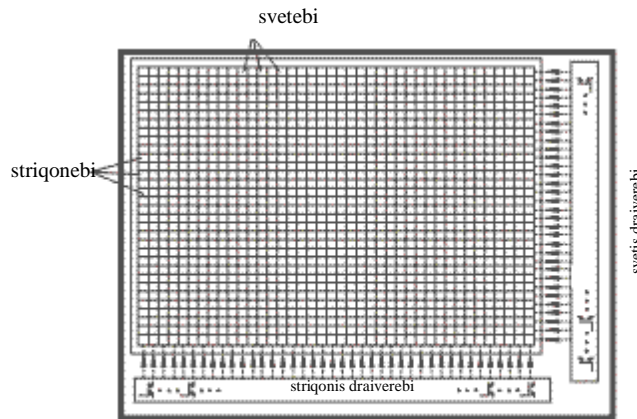
სიმბოლო	აღწერილობა	მნიშვნელობა	ერთეული
t_B	მინიმალური ხანგრძლივობის უმოქმედო პერიოდი, რათა მიმღებმა (დემიფრატორმა) TMDS სიტყვების საზღვრები დაადგინოს. ამ ხანგრძლივობის უმოქმედო პერიოდები აუცილებელია განმეორდეს სულ მცირე ყოველ 50 მილიწამში ერთხელ (20ჰცსიხშირით)	128	$T_{პიქსელი}$
t_E	შიფრატორის/სერიალაიზერის დაყოვნების მაქსიმალური დრო	64	$T_{პიქსელი}$
t_R	მონაცემთა ნაკადის აღდგენის/დემიფრატორის დაყოვნების მაქსიმალური დრო. აღნიშნული დრო მოიცავს არხის შიდა გადახრასაც. t_R დრო აითვლება მონაცემთა არხებს შორის DE სიგნალის გადაცემის მომენტიდან	64	$T_{პიქსელი}$



ნახ. 2.21. TMDS არხის დროითი პარამეტრები

ახლა დავუბრუნდეთ ვიდეოინტერფეისის მონიტორის მხარეს. პირველ რიგში აღსანიშნავია, რომ ნებისმიერი თხევადკრისტალური (LCD) მონიტორის ტოპოლოგიას ქმნის სტრიქონების და სვეტების ელექტროდებისგან შედგენილი მატრიცა. ამასთანავე, გამოსახულების თითოეული ელემენტი სტრიქონისა და სვეტის კვეთის ადგილზე მდებარეობს (ნახ. 2.22). სტრიქონების რაოდენობა ყოველთვის ნაკლებია სვეტების რაოდენობაზე. გამოსახულების შესაბამისი წერტილის (პიქსელის) ჩართვის მიზნით აუცილებელია სვეტის შერჩევა და იმ სტრიქონის მითითება, რომელზეც მდებარეობს აღნიშნული წერტილი. ამის შემდეგ გამოსახულების შესაბამის ელემენტს მიეწოდება გარკვეული, მმართველი ძაბვა. სტრიქონების და სვეტების არჩევა ტრანზისტორების მეშვეობით ხდება. ტრანზისტორები

ქმნიან ე.წ. სტრიქონების და სვეტების დრაივერებს. ცხადია, სვეტების დრაივერებში გამოყენებული ტრანზისტორების რაოდენობა აუცილებელია შეესაბამებოდეს სვეტების რაოდენობას და ასევე ხდება სტრიქონების შემთხვევაში [52].

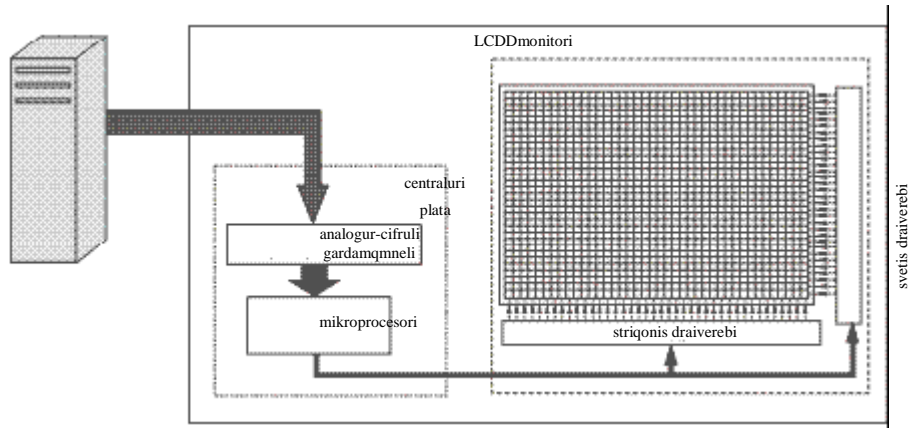


ნახ. 2.22. თხევადკრისტალური (LCD) მონიტორი

მაგალითად, თუ ფერად თხევადკრისტალურ მონიტორს აქვს 1024X768 რეზოლუცია, მაშინ ის აერთიანებს 1024 სვეტს და 768 სტრიქონს. ამავდროულად, რადგან მონიტორი ფერადია, მისი თითოეული ელემენტი (პიქსელი) დამატებით სამი ელემენტისგან (სუბპიქსელისგან) შედგება. ესენია წითელი, მწვანე და ლურჯი ფერის სუბპიქსელები. მაშასადამე, ჩვენს მიერ აღწერილი მონიტორი სინამდვილეში აერთიანებს 3072 სვეტს (1024×3) და 768 სტრიქონს და მისი მართვისთვის აუცილებელია $3072 + 768 = 3840$ ტრანზისტორი. დღესდღეობით ტრანზისტორების მასივები, ცხადია, რეალიზებულია ინტეგრალური მიკროსქემის სახით, რომელიც უშუალოდ თხევადკრისტალური მონიტორის კორპუსში თავსდება და ქმნის მისგან განუყოფელ კონსტრუქციას [53].

3840 ტრანზისტორის გადართვისთვის აუცილებელ სიგნალებს გამოიმუშავებს მონიტორის მმართველ ძირითად პლატაზე განლაგებული მიკროპროცესორი [54]. მიკროპროცესორი და სხვა მიკროსქემების მთელი წყება კომპიუტერის მიერ მიწოდებულ სიგნალებს გარდაქმნის თხევადკრისტალურ

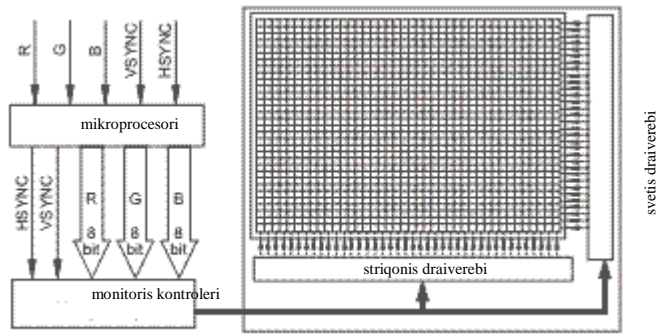
ლური მონიტორის მმართველ ანუ სტრიქონებისა და სვეტების დრაივერების მმართველ სიგნალებად. თხევადკრისტალური მონიტორის სხვადასხვა ელემენტების ურთიერთქმედების გამარტივებული სქემა ნაჩვენებია ნახ. 2.23-ზე



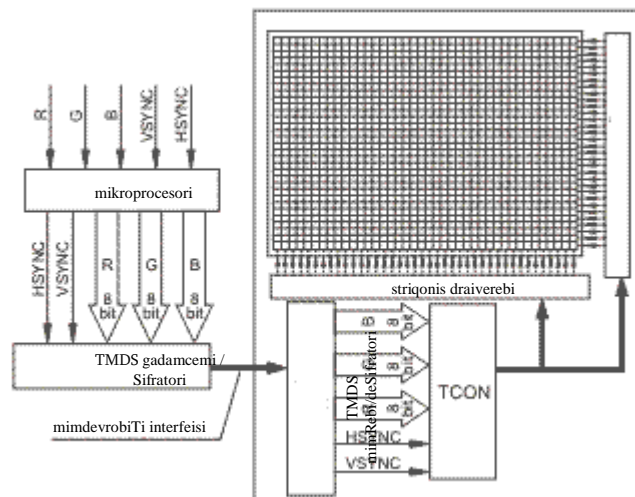
ნახ. 2.23. LCD მონიტორის ინტერფეისის ელემენტების ურთიერთქმედების გამარტივებული სქემა

თხევადკრისტალური (LCD) მონიტორის და მიკროპროცესორის დაკავშირების რამდენიმე საშუალება (ინტერფეისი) არსებობს. ნებისმიერ შემთხვევაში მიკროპროცესორის გამოსასვლელზე მონაცემებს აქვს TTL-ის დონეების შესაბამისი ციფრული სიგნალების ფორმა [55]. ამავდროულად, მონაცემები გადაიცემა პარალელურ კოდში და თითოეულ ფერს შეესაბამება 8 ბიტი ანუ მიკროპროცესორის გამოსასვლელზე თითოეული პიქსელი დაშიფრულია 24 ბიტის მეშვეობით. გარდა ამისა, გადაცემული მონაცემების სინქრონიზაციის მიზნით მიკროპროცესორის გამოსასვლელზე ფორმირდება სტრიქონული და კადრული სინქრონიზაციის სიგნალები. აღნიშნული სიგნალები (VSYNC და HSYNC) განსაზღვრავს ახალი სტრიქონის და ახალი კადრის დაწყებას, რის შედეგადაც დგინდება თითოეული პიქსელის ზუსტი ადგილმდებარეობა ეკრანზე. სტრიქონებისა და სვეტების დრაივერები თითოეულ ამ სიგნალს, იქნება ის გრაფიკული მონაცემების თუ სინქრონიზაციის, გარდაქმნის მმართველ სიგნალებად (ნახ. 2.24). იგივე პროცესი ნაჩვენებია ნახ. 2.25-ზე ჩვენს მიერ უკვე აღწერილი TMDS პროტოკოლის

შემთხვევაში (TCON არის Timing Controller ანუ სინქრონიზაციის კონტროლერი).



ნახ. 2.24. გრაფიკული მონაცემების და სინქროსიგნალების გარდაქმნა მმართველ სიგნალებად



ნახ. 2.25. გრაფიკული მონაცემების და სინქროსიგნალების გარდაქმნა მმართველ სიგნალებად TMDS პროტოკოლის შემთხვევაში

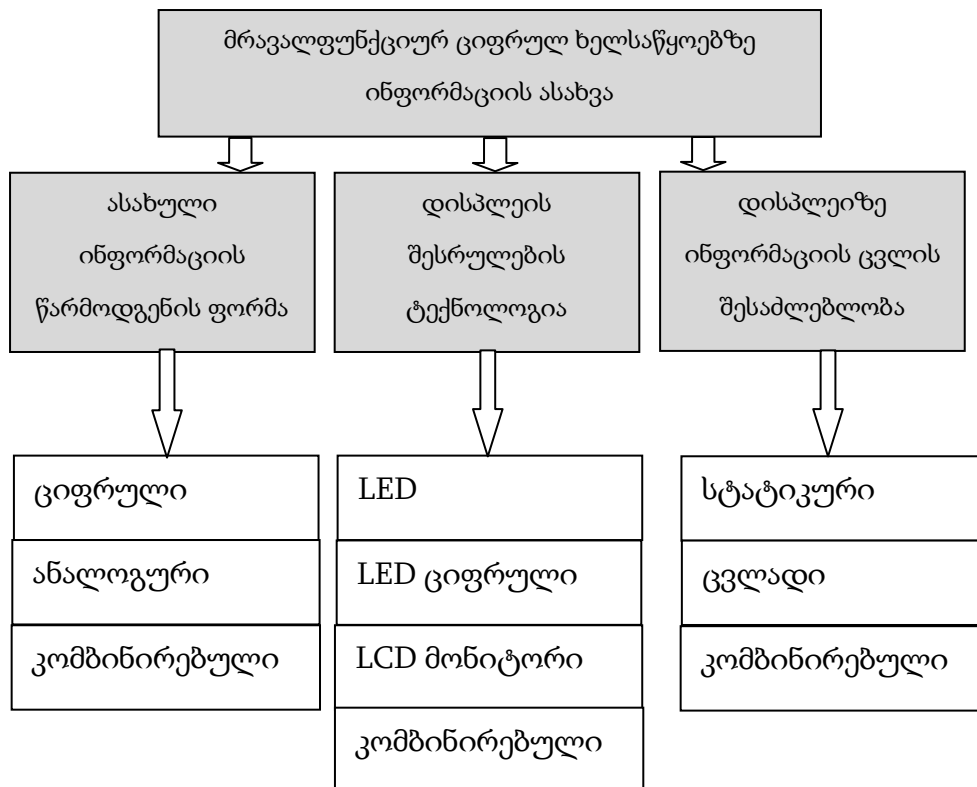
2.3. SCADA სისტემებში გამოყენებული მრავალფუნქციური ციფრული გამზომი ხელსაწყოების ერგონომიულობის ამაღლების მეთოდი

ბოლო პერიოდში ტექნოლოგიური პროცესის მონიტორინგისა და მართვის სისტემების ინტეგრატორებს შორის დაშორებული ტერმინალის სახით დიდი პოპულარობით სარგებლობს მრავალფუნქციური ციფრული ხელსაწყოები (მფცხ), იქნება ეს გამზომი, დისკრეტული სიგნალების შემტანი ან გამომტანი ხელსაწყოები, რეგულატორები თუ ნებისმიერი სხვა ხელსაწყო (ჩვეულებრივ ეს არის კონტროლერები), რომელსაც აქვს უნარი იმუშაოს უშუალოდ საკონტროლო ან სამართავ ობიექტთან და იმავედროულად იქონიოს კავშირი მართვის დისპეტჩერულ პუნქტთან.

მრავალფუნქციური ციფრული ხელსაწყოები გამოირჩევიან შესასრულებელი ფუნქციების დიდი რაოდენობით, რაც მეტად აფართოებს მათი დანიშნულების და გამოყენების სფეროებს [56]. მრავალფუნქციური ციფრული ხელსაწყოები, როგორც წესი, აიგებიან მიკროპროცესორების გამოყენებით [57], რაც მეტად კომპაქტურს ხდის მათ კონსტრუქციებს. ამდენად ასეთი კონტროლერების გამოყენება მეტად ეფექტურია ისეთი SCADA სისტემების აგებისათვის, სადაც არ მოითხოვება ტექნოლოგიურ პროცესებზე დაკვირვება უშუალოდ ობიექტზე. ისეთ SCADA სისტემების შემთხვევაში, როცა საჭიროა დამატებით ტექნოლოგიური პროცესების უშუალოდ ობიექტზე კონტროლიც, მრავალფუნქციური კონტროლერების გამოყენება ნაკლებად ერგონომიულია, რამდენადაც მათი კონსტრუქციული კომპაქტურობიდან გამომდინარე ვერ ხერხდება ყველა საჭირო ინფორმაციის ასახვა კონტროლერის დისპლეიზე.

ამდენად, მფცხ-ის ფუნქციური შესაძლებლობები ($CardF=n$) წინ უსწრებს მის მონიტორზე ასახული მონაცემების m რაოდენობას ($n>m$). იდეალურ შემთხვევაში $n=m$, რაც ვერ კმაყოფილდება მფცხ-ების შემთხვევაში.

ინფორმაციის ასახვის ხერხების მიხედვით მრავალფუნქციური ციფრული ხელსაწყოები შეიძლება კლასიფიცირებულნი იქნან შემდეგნაირად (ნახ. 2.26):

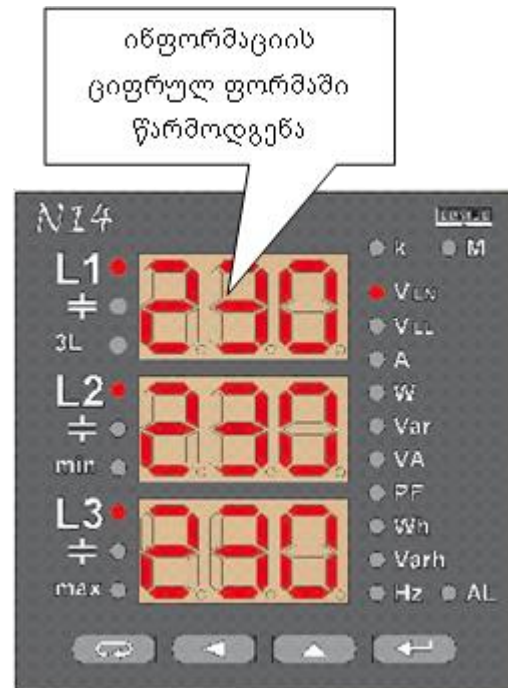


ნახ. 2.26 მფცხ-ების კლასიფიკაცია

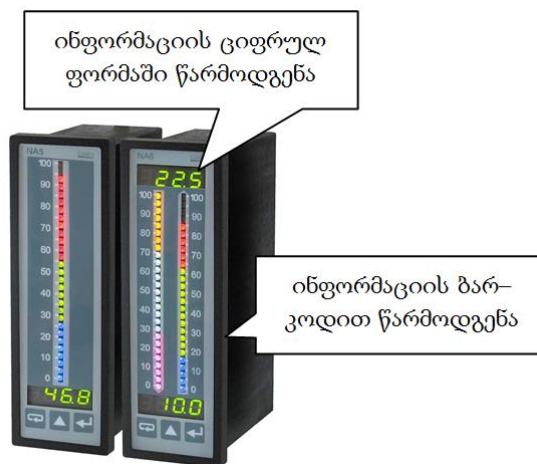
წარმოდგენილ კლასიფიკაციაში ნაჩვენებია არ არის მფცხ-ები ინფორმაციის ასახვის გარეშე, ანუ თავიდანვე ვთვლით, რომ მფცხ-ები გათვალისწინებულია უშუალოდ ობიექტზე დაკვირვებისათვის.

დღეისათვის ყველაზე მეტად გავრცელებულია მფცხ-ები ინფორმაციის ციფრულ ფორმაში წარმოდგენით. ნახ. 2.27-ზე ნაჩვენებია მულტი-ფუნქციური გამზომი ხელსაწყო პანელი, სადაც გამოყენებულია ინფორმაციის ციფრულ ფორმაში წარმოდგენა. ინფორმაციის ანალოგური ფორმით წარმოდგენაში, უპირველეს ყოვლისა, იგულისხმება ინფორმაციის ბარ-კოდით წარმოდგენა. როგორც წესი, ინფორმაციის ბარ-კოდით წარმოდგენა კომბინირებულია ინფორმაციის ციფრულ ფორმაში წარმოდგენასთან (ნახ. 2.28). ინფორმაციის კომბინირებული წარმოდგენის დროს მომხმარებელი

ასოციატიურად აღიქვამს მონაცემს ანალოგური ინდიკატორიდან, მაგრამ დაზუსტებისათვის მიმართავს ციფრულ ინდიკატორს.



ნახ. 2.27. მგცხ ინფორმაციის ციფრული წარმოდგენით



ნახ. 2.28. მგცხ ინფორმაციის კომბინირებული წარმოდგენით

LCD მონიტორების ტექნოლოგიების დახვეწამ და გაიაფებამ სტიმული მისცა მათ გამოყენებას მგცხ-ებში. შესაბამისად გაიზარდა ასახული ინფორმაციის მოცულობა, მაგრამ შემცირდა ხელსაწყოს ერგონომიულობა LED დისპლეისთან შედარებით, რადგან ასეთი LCD მონი-

ტორები მაღალი ხარისხის არაა (სიიაფის გამო) და აქვთ დაბალი ხედვის კუთხე, დაბალი კონტრასტულობა და დაბალი სიკაშკაშე.



ნახ. 2.29. მფცხ LCD მონიტორით

როგორც ზემოთ ვნახეთ, $n > m$. იმისათვის, რომ მომხმარებელმა შეძლოს მფცხ-ს ყველა ფუნქციის შედეგის ნახვა, უნდა ისარგებლოს ხელსაწყოს მენიუში გადაადგილების დილაკებით.

როგორც წესი, მფცხ-ების მენიუ აიგება „წრიული მენიუს“ სახით. ამასთან ზოგიერთ (ან ყველა) პარამეტრს შეიძლება ქონდეს ქვემენიუები. ამასთან, როგორც მფცხ-ების გამოყენების პრაქტიკა გვიჩვენებს, ხელსაწყოს F ფუნქციათა სიმრავლიდან კონკრეტულ SCADA სისტემაში გამოიყენება მხოლოდ $F' \subset F$ ფუნქციები. აქვე უნდა აღინიშნოს, რომ $Card F' \ll Card F$.

ამდენად, სასურველ პარამეტრზე ფიქსირებისათვის მომხმარებელს ესაჭიროება სხვადასხვა დრო, გამომდინარე იქედან, თუ მოცემულ მომენტში რომელ პარამეტრზეა დაფიქსირებული ხელსაწყოს ჩვენება.

დავუშვათ, რომ ხელსაწყო გამიზნულია $Card F = n$ ფუნქციის შესასრულებლად და ერთი პარამეტრის ასახვისათვის. ხელსაწყოს ეკრანზე პარამეტრის აღქმისათვის საჭიროა ორი მოძრაობის განხორციელება: დილაკზე თითის დაჭერა გადაადგილებისათვის და უშუალოდ აღქმა. ორივე ამ ქმედებას სჭირდება გარკვეული დრო. ამასთან, მხედველობაშია მისაღები აგრეთვე მფცხ-ს შიგთავსის (ელექტრონიკის) სწრაფქმედებაც. ამდენად,

მენიუში გადაადგილებისათვის საჭირო დროის შეფასება შეიძლება აღწერილი იქნას ჰიკის კანონის მიხედვით [58]:

$$T_{ჰიკი}=a+b*\log_2(n+1),$$

სადაც გამოყენებული a და b კოეფიციენტები ზოგადად ბევრ ფაქტორზეა დამოკიდებული, მაგრამ რასკინის [59] მიერ იგი განმარტებულია როგორც ელექტრონიკის სწრაფქმედების (a) და გადაადგილებისათვის საჭირო ქმედების (ამ შემთხვევაში ღილაკზე თითის დაჭერა) (b) დროის კოეფიციენტებად. მაგალითად, მომხმარებლის მიერ ინტერფეისის გამოყენების ჩვევების შექმნა ამცირებს b კოეფიციენტის მნიშვნელობას და ა.შ. ამავდროულად, იმავე რასკინის მიერ [59] a და b მიჩნეულია შესაბამისად $a=50$ მლწმ და $b=150$ მლწმ.

დავუშვათ, მფცხ-ის ერთ პარამეტრზე გადაადგილებისათვის საჭირო იქნება $t_{გადაადგ.დრო}$. ვინაიდან გვაქვს n პარამეტრი, ამიტომ გარკვეული მიახლოებით შეიძლება ჩავთვალოთ, რომ ერთ პარამეტრზე გადაადგილება და მისი აღქმა დაიჭერს $((t_{გადაადგ.დრო}+t_{აღქმა})*n)/2$ გასაშუალებულ დროს.თუ საჭიროა ერთდროულად რამდენიმე k პარამეტრის გაანალიზება, მაშინ მომხმარებელი იძულებულია ამოიწეროს ცალკეული პარამეტრის მნიშვნელობა. შესაბამისად, ერთი პარამეტრის აღქმასა და გაანალიზებაზე დაიხარჯება დრო: $((t_{გადაადგ.დრო}+t_{აღქმა})*n)/2 + t_{ამოწერა}$, ხოლო k პარამეტრის აღქმისა და გაანალიზებისთვის მას დასჭირდება $((t_{გადაადგ.დრო}+t_{აღქმა})*n)/2 + t_{ამოწერა}*k$ დრო.

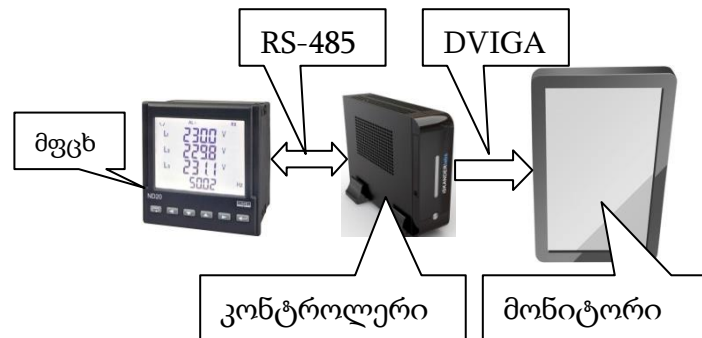
თუ მფცხ აღჭურვილია მონიტორით, რომელზეც ერთდროულად გამოიტანება მომხმარებლისათვის საჭირო k პარამეტრი, მაშინ ყოველგვარი მენიუში გადაადგილებისა და პარამეტრების ამოწერის გარეშე მომხმარებელი k პარამეტრის აღქმისთვის დახარჯავს მხოლოდ $t_{აღქმა}*k$ დროს. შესაბამისად, მოგება დროში იქნება:

$$\alpha = (((t_{გადაადგ.დრო}+t_{აღქმა})*n)/2 + t_{ამოწერა}*k) / (t_{აღქმა}*k) = ((t_{გადაადგ.დრო}+t_{აღქმა})*n)/2 + t_{ამოწერა} / t_{აღქმა}.$$

დავუშვათ, მფცხ განკუთვნილია $n=50$ სხვადასხვა ფუნქციის შესასრულებლად. $t_{გადაადგ.დრო}=a+b*\log_2(n+1)=50+150*\log_2(50+1)\approx 900$ მლწმ, ხოლო $t_{აღქმა}\approx 200-300$ მლწმ. რაც შეეხება $t_{ამოწერა}$ დროს, ის უაღრესად ცვალებადია, მომხმარებელზეა დამოკიდებული და უკიდურესად ფართო დიაპაზონში

ექცევა, რის გამოც მას უგულვებელყოფთ. საბოლოო ჯამში, $n=50$ შემთხვევაში $\alpha \approx 100$. ფუნქციების რაოდენობის ზრდასთან ერთად დროში მოგება კიდევ უფრო იზრდება.

მფცხ-ის k პარამეტრის ერთდროული ასახვისათვის შემოთავაზებულია ფართოეკრანიანი მონიტორის გამოყენება. ამგვარი სისტემის არქიტექტურა ნაჩვენებია ნახ. 2.30-ზე.



ნახ. 2.30. მფცხ-დან ინფორმაციის ასახვის სისტემა

უმარტივეს შემთხვევაში სისტემა მოიცავს ერთ მფცხ-ს, კონტროლერს და მონიტორს. კონტროლერის დანიშნულებაა მფცხ-დან მიიღოს k რაოდენობის პარამეტრი და მოამზადოს ეს ინფორმაცია მონიტორზე გამოტანისათვის. ამ მიზნით ის მფცხ-ს უკავშირდება სამრეწველო ქსელით.

როგორც კონტროლერის ფუნქციიდან ჩანს, მას პრაქტიკულად უწევს კომპიუტერის ფუნქციის შესრულება. შესაბამისად ის აღჭურვილია ოპერაციული სისტემით. როგორც (33)-შია აღწერილი, მოტანილი არქიტექტურა კარგად მუშაობს პრაქტიკაში. მის ძირითად ნაკლად უნდა ჩაითვალოს კონტროლერში ოპერაციული სისტემის არსებობა, რომელიც რეალურ დროში მომუშავე SCADA სისტემებისათვის ითვლება არასაიმედოდ.

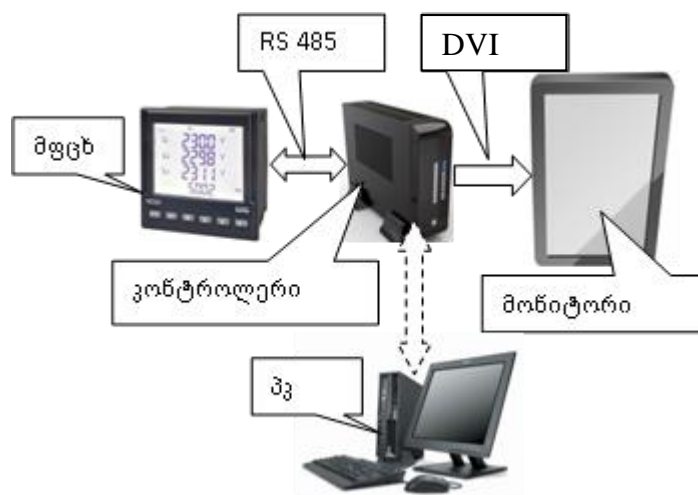
ოპერაციული სისტემების მქონე რეალურ დროში მომუშავე კონტროლერის საიმედოობის ამაღლების მიზნით იყენებენ ე.წ. „მოდარაჯე ტაიმერს“ [60], რომლის ძირითადი ფუნქციაა ოპერაციული სისტემის „დაკიდების“ დროს უზრუნველყოს კონტროლერის გადატვირთვა. ცხადია, გადატვირთვის ოპერაცია იჭერს რამდენიმე წმ-ს, რომლის დროსაც მომსა-

ხურე პერსონალს შეიძლება მხედველობიდან გამორჩეს SCADA სისტემის მართვის მნიშვნელოვანი მომენტი.

2.4. მაღალი ერგონომიულობის მქონე ინფორმაციის ასახვის სისტემის არქიტექტურა და ფუნქციონირება

შემოთავაზებული ინფორმაციის ასახვის სისტემის (კონტროლერის) (იაკ) დანიშნულებაა მფცხ-დან k რაოდენობის პარამეტრის ამოკითხვა, მისი გადამუშავება წინასწარ ცნობილი პირობების შესაბამისად, მომზადება მონიტორზე გასატანად და მონიტორზე ასახვა.

პირობები, რომლის მიხედვითაც უნდა მოხდეს კონტროლერში მიღებული პარამეტრის გარდაქმნა, მასში ჩაიწერება პერსონალური კომპიუტერიდან და მის გადაპროგრამირებად მეხსიერებაში დაიმახსოვრება. შესაბამისად პერსონალური კომპიუტერი აღჭურვილი უნდა იყოს სათანადო პროგრამული უზრუნველყოფით. აქედან გამომდინარე ინფორმაციის ასახვის სისტემის არქიტექტურა წარმოიდგინება შემდეგნაირად (ნახ. 2.31):



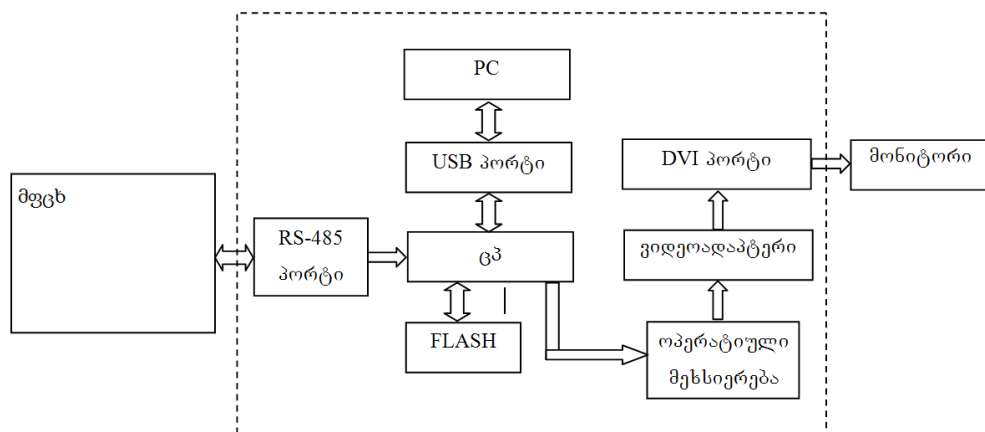
ნახ. 2.31. ინფორმაციის ასახვის სისტემის არქიტექტურა

როგორც ვხედავთ, შემოთავაზებული არქიტექტურა წინა თავში არქიტექტურისგან განსხვავდება იმით, რომ დამატებით მოიცავს პკ-ს, რომელიც სისტემას მიუერთდება იმ შემთხვევაში, როცა საჭიროა ინფორმაციის დამუშავების პირობების შეცვლა კონტროლერში.

ინფორმაციის დამუშავების პირობები შემდეგია:

- მონიტორზე ინფორმაციის გამოტანის სახე: ანალოგური, ციფრული, კომბინირებული
- მონიტორზე გამოტანილი სიმბოლოების მოხაზულობა
- მონიტორზე გასატანი სიმბოლოებისა და პიქტოგრამების ფერთა გამა
- მონიტორზე სიმბოლოებისა და პიქტოგრამების ასახვის რეჟიმები: სტატიური, დინამიური
- მფცხ-ში წასაკითხი რეგისტრების მისამართები
- ინფორმაციის მონიტორზე გატანის დროითი პარამეტრები.

ნახ. 2.32-ზე ნაჩვენებია იაკ-ის სტრუქტურა, რომელიც მოიცავს ცენტრალურ პროცესორს (ცპ-ს):



ნახ. 2.32. ინფორმაციის ასახვის კონტროლერის (იაკ-ის) სტრუქტურა

აღნიშნულ სქემაზე ცპ იღებს ინფორმაციას მფცხ-დან, ამუშავებს მას და გამოაქვს მონიტორზე. ცპ-სა და მფცხ-ს შორის ინფორმაციის გაცვლა ხდება RS-485 ინტერფეისის მეშვეობით და Modbus პროტოკოლის

საფუძველზე. მონიტორზე გასატანი გამოსახულების (მათ შორის ციფრების, სიმბოლოების, ბარ-კოდების, ფერების და ა.შ.) კოდირებული ინფორმაცია ინახება კონტროლერის FLASH-მეხსიერებაში. კონტროლერის დაპროგრამება, ისევე როგორც FLASH-მეხსიერებაში ჩასატვირთი ინფორმაციის მომზადება ხდება პერსონალური კომპიუტერიდან, ხოლო ჩატვირთვა ხორციელდება USB პორტის მეშვეობით. აქედან მოყოლებული სისტემა ავტომატურ რეჟიმში ფუნქციონირებს და პერსონალური კომპიუტერი (თავისი ოპერაციული სისტემით) მხოლოდ მაშინ ერთვება საქმეში, თუ აუცილებელია სისტემის რაიმე პარამეტრის ან პროგრამული უზრუნველყოფის შეცვლა.

უფრო ზუსტი რომ ვიყოთ, FLASH-მეხსიერებაში ინახება მონიტორზე გასატანი გამოსახულების შაბლონი. ეს ინფორმაცია იტვირთება ვიდეო-ადაპტერის ოპერატიულ მეხსიერებაში, საიდანაც ხდება ინფორმაციის ამოკითხვა, შესაბამისი გარდაქმნების შესრულება და DVI პორტის მეშვეობით მონიტორზე გატანა. მონიტორზე გასატანი ერთი სრული კადრის (მონიტორის ეკრანის სრული გაშლა) მისაღებად აუცილებელია FLASH-მეხსიერებიდან ვიდეოადაპტერის ოპერატიულ მეხსიერებაში ჩატვირთულ შაბლონს დაემატოს ცპ-ის მიერ მფცხ-დან მიღებული და შესაბამის ფორმატში გარდაქმნილი ინფორმაცია, მაგალითად, რომელიმე გასაზომი პარამეტრის რიცხვითი მნიშვნელობა. ამ პროცედურის შემდეგ ვიდეოადაპტერი ოპერატიული მეხსიერებიდან ამოკითხავს სრულ კადრს, შეასრულებს შესაბამის გარდაქმნებს და გამოსახულებას გაიტანს მონიტორზე მომხმარებლისთვის მისაღებ ფორმაში.

ინფორმაციის გაცვლა მფცხ-სა და კონტროლერს შორის, როგორც უკვე ითქვა, მიმდინარეობს RS-485 ინტერფეისის მეშვეობით Modbus პროტოკოლის საფუძველზე. ქსელში კონტროლერი წამყვანია, მფცხ – დაქვემდებარებული. მფცხ მის მიერ მის მიერ „მოპოვებულ“ პარამეტრის მნიშვნელობებს ინახავს შესაბამის რეგისტრებში და ელოდება კონტროლერის ბრძანებას.

ნიმუშად ავიღოთ ციფრული, პროგრამირებადი გამზომი მოწყობილობა, რომელიც ერთფაზიან ელექტრულ ქსელშია ჩართული და ზომავს სხვადასხვა პარამეტრებს (მაგალითად, ძაბვას).

Modbus პროტოკოლის საფუძველზე აგებულ ქსელებში გამოიყენება მონაცემების გადაცემის ორი მეთოდი: ASCII და RTU. დავუშვათ, რომ ჩვენს მიერ შერჩეულ გამზომ მოწყობილობას აქვს Modbus RTU რეჟიმის მხარდაჭერა. ModbusRTU რეჟიმში თითოეულ ფრეიმს (კადრს) აქვს 2.4 ცხრილში ნაჩვენები სახე.

ცხრილი 2.4. ფრეიმი (კადრი) MODBUS RTU რეჟიმში

დაქვემდებარებული მოწყობილობის მისამართი	ფუნქცია	მონაცემები	საკონტროლო ჯამი (CRC)
8 ბიტი	8 ბიტი	n ბიტი	16 ბიტი

გარდა ამისა, თითოეული ბაიტი იწყება ერთი სტარტ-ბიტით და მთავრდება ორი სტოპ-ბიტით. იმ შემთხვევაში თუ გამოიყენება ლუწობაზე კონტროლის მეთოდი, მაშინ ერთი სტოპ-ბიტი იცვლება ლუწობაზე კონტროლის ბიტით.

დავუშვათ, მიზნად ვისახავთ დაქვემდებარებული მფცხ-ს ორი 16-ბიტიანი, მთელრიცხვიანი ტიპის რეგისტრიდან ინფორმაციის ამოკითხვას. თუ დავუშვებთ, რომ დაქვემდებარებული მოწყობილობის მისამართია 1, ხოლო საწყისი რეგისტრის მისამართია 4000 (0FA0h), წამყვანი მოწყობილობის (კონტროლერის) მიერ გაგზავნილ მოთხოვნას ექნება 2.5 ცხრილში ნაჩვენები სახე.

როდესაც დაქვემდებარებული მოწყობილობა წამყვან მოწყობილობას პასუხობს, ფუნქციის კოდი შეცდომის დაფიქსირებისთვის გამოიყენება. ნორმალური პასუხის შემთხვევაში დაქვემდებარებული მოწყობილობა იმეორებს ფუნქციის კოდს, ხოლო თუ დაფიქსირდა შეცდომა, მაშინ ფუნქციის

კოდის უფროსი ბიტი იქნება 1. მაგალითად, ჩვენს შემთხვევაში ნორმალური პასუხის ფუნქციის კოდი იქნება 0000 0011, ხოლო თუ დაფიქსირდა შეცდომა, მაშინ პასუხში, კერძოდ მის ფუნქციის კოდში, გვექნება 1000 0011. თუ წამყვანი მოწყობილობის მიერ მოთხოვნილ რეგისტრებში ეწერა გარკვეული მნიშვნელობები (მაგალითად, 17 და 20) მაშინ დაქვემდებარებული მოწყობილობის ნორმალურ პასუხს ექნება 2.6 ცხრილში ნაჩვენები სახე.

ცხრილი 2.5. წამყვანი მოწყობილობის მიერ გაგზავნილი მოთხოვნა

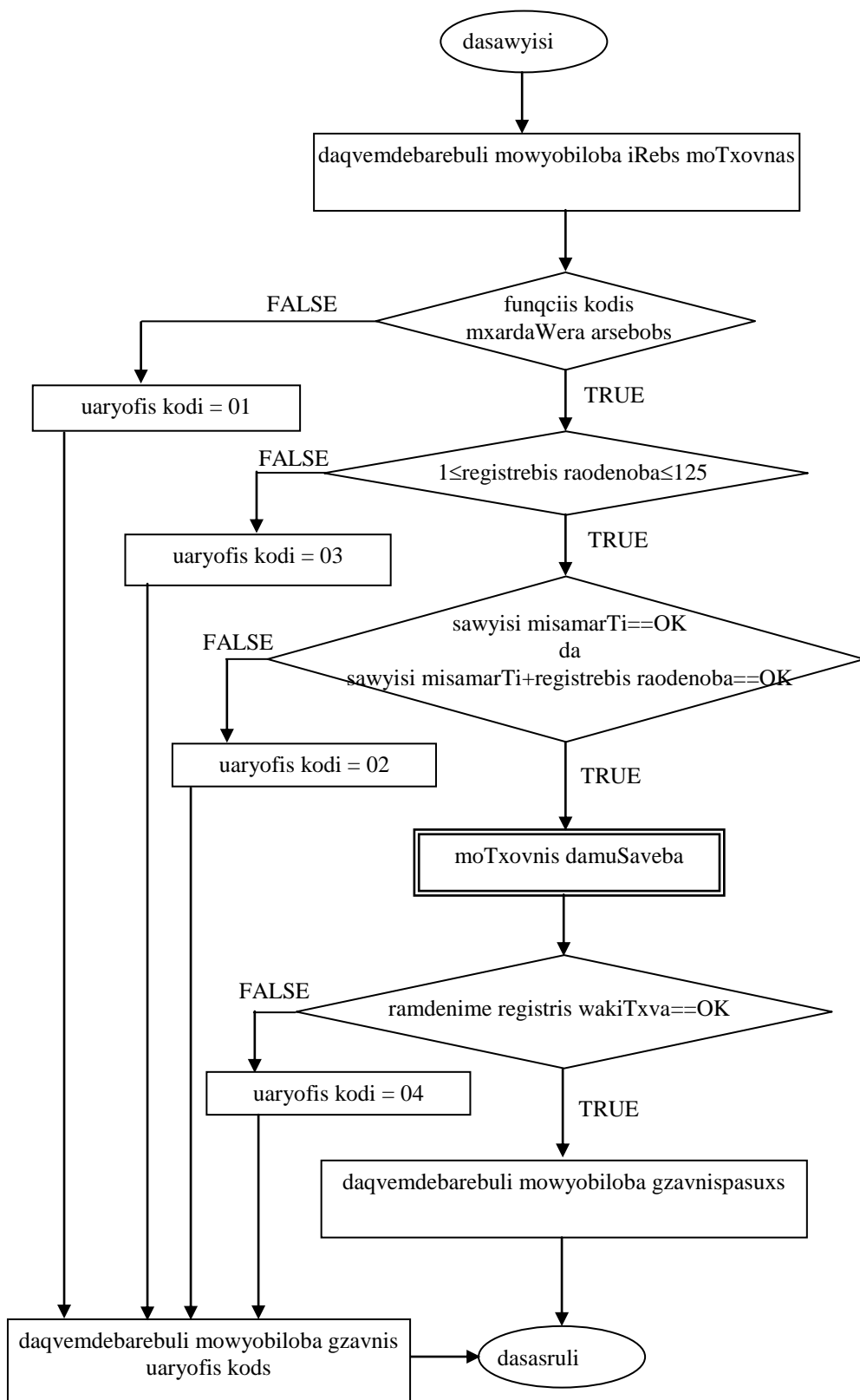
მოწყობილობის მისამართი	ფუნქცია	საწყისი რეგისტრის მისამართი		რეგისტრების რაოდენობა		CRC
		Hi	Lo	Hi	Lo	
0000 0001	0000 0011	0000 1111 (0F)	1010 0000 (A0)	0000 0000	0000 0010	1100 0111 0011 1101 (C73Dh)

შენიშვნა: სიმარტივის მიზნით სტარტ-ბიტი და სტოპ-ბიტები (ან ლუწობაზე კონტროლის ბიტი) ნაჩვენები არ არის

ცხრილი 2.6. დაქვემდებარებული მოწყობილობის ნორმალური პასუხი

მოწყობილობის მისამართი	ფუნქცია	ბაიტების რაოდენობა	4000-ე რეგისტრის მნიშვნელობა		4001-ე რეგისტრის მნიშვნელობა		CRC
			Hi	Lo	Hi	Lo	
0000 0001	0000 0011	0000 0100	0000 0000	0001 0001	0000 0000	0001 0100	1110 0100 0110 1111 (E46Fh)

რეგისტრების გარკვეული რაოდენობის ამოკითხვის ზოგადი ალგორითმი ნაჩვენებია ნახ. 2.33-ზე აღსანიშნავია, რომ მითითებული რეგისტრების მაქსიმალური რაოდენობა არის 125.



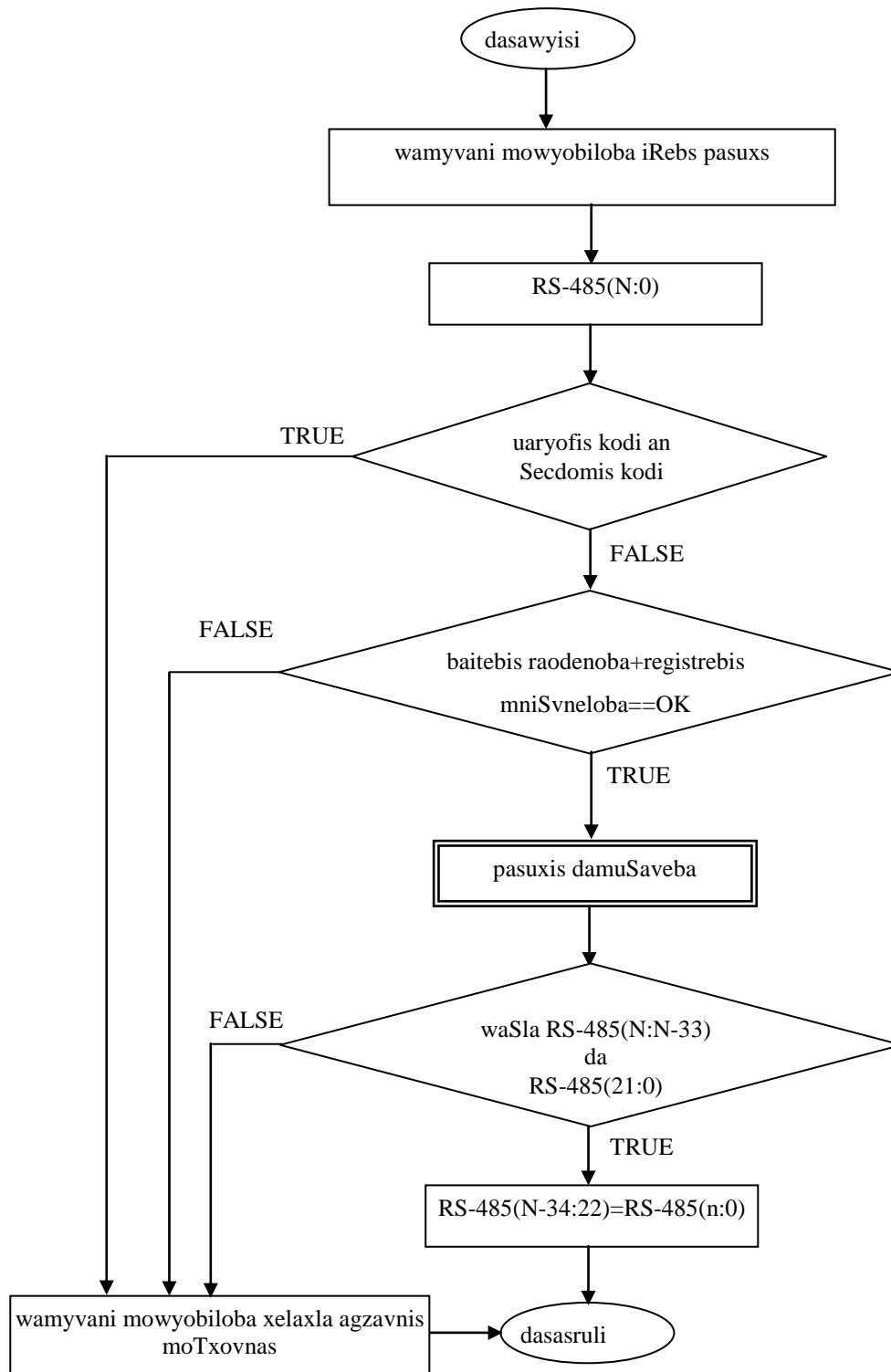
ნახ. 2.33. რეგისტრების გარკვეული რაოდენობის ამოკითხვის ალგორითმი

რეგისტრების გარკვეული რაოდენობის ამოკითხვის შემდეგ კონტროლერი იღებს RS-485 სიტყვას, რომელიც შეიცავს არა მხოლოდ რეგისტრებში შენახულ ინფორმაციას, არამედ მოწყობილობის მისამართს, ფუნქციის კოდს და ა.შ. აქედან გამომდინარე, აუცილებელია RS-485 სიტყვისთვის არასაინფორმაციო კომპონენტის მოშორება და მხოლოდ შემდეგ ჩაწერა ოპერატიულ მეხსიერებაში, საიდანაც ამ ინფორმაციის ამოკითხვას ვიდეოადაპტერი შეძლებს.

აღნიშნოთ RS-485 სიტყვა RS-485(N:0) სიმბოლოთი, სადაც N არის სიტყვის ბოლო ბიტის რიგითი ნომერი. RS-485 სიტყვის საინფორმაციო კომპონენტის ბიტების რაოდენობა დამოკიდებულია როგორც რეგისტრების თანრიგზე, ასევე ამოკითხული რეგისტრების რაოდენობაზე. აქედან გამომდინარე, მისი ზუსტი მნიშვნელობა განისაზღვრება კონტრეტული მოთხოვნებიდან გამომდინარე. სამაგიეროდ, ვიცით, რომ RS-485 სიტყვის პირველი სამი არასაინფორმაციო კომპონენტის (მოწყობილობის მისამართი, ფუნქციის კოდი და ბაიტების რაოდენობა) ბიტების რაოდენობა არის 33 (სტარტ და სტოპ-ბიტების ჩათვლით), ხოლო ბოლო არასაინფორმაციო კომპონენტის (CRC კოდის) ბიტების რაოდენობა – 22. შესაბამისად, RS-485 სიტყვას აუცილებელია მოაკლდეს პირველი 33 და ბოლო 22 ბიტი, რის შემდეგაც დარჩება მისი მხოლოდ საინფორმაციო (რეგისტრებიდან ამოკითხული მნიშვნელობების) ნაწილი.

RS-485 სიტყვის დეშიფრაციის (არასაინფორმაციო კომპონენტის მოშორების) ალგორითმი ნაჩვენებია ნახ. 2.34-ზე.

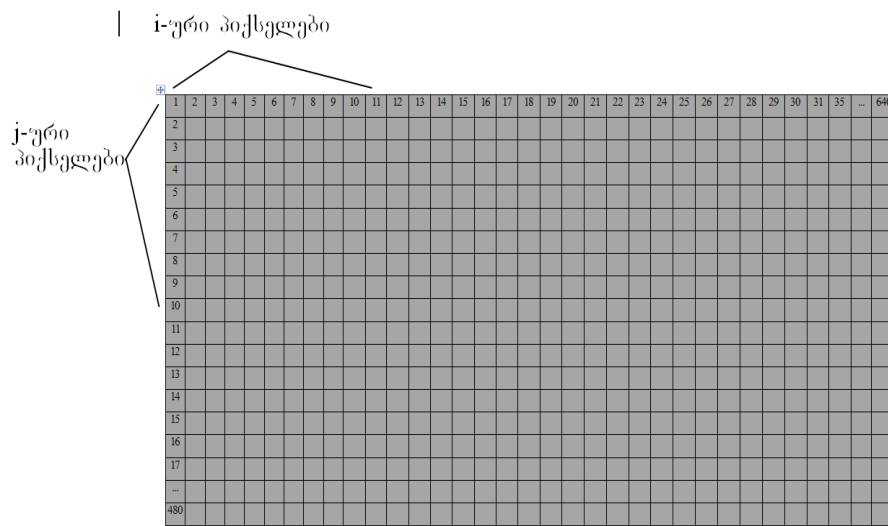
ზემოთ ნაჩვენები ალგორითმის რეალიზაციის შედეგად RS-485 სიტყვიდან გვრჩება მრავალფუნქციური, ციფრული გამზომი ხელსაწყო რეგისტრიდან ამოკითხული ინფორმაცია (მაგალითად, რაიმე პარამეტრის მნიშვნელობა), რომელიც მოგვიანებით უნდა გამოისახოს ეკრანზე. სიმარტივის მიზნით დავუშვათ, რომ ინფორმაცია ამოკითხულია გამზომი ხელსაწყოს ერთი რეგისტრიდან და ასახავს რაიმე ერთი პარამეტრის მნიშვნელობას.



ნახ. 2.34. RS-485 სიტყვის დემიფრაციის (არასაინფორმაციო კომპონენტების მოშორების) ალგორითმი

ვიდრე აღნიშნული ინფორმაცია გამოისახება მომხმარებლისთვის მისაღებ ფორმაში, აუცილებელია ჩაიტვირთოს ეკრანის (მონიტორის) შაბლონი, რომლის ფონზე გამოჩნდება ციფრული ხელსაწყოდან მიღებული ნებისმიერი მონაცემი. ეს შაბლონი და მისი სხვადასხვა პარამეტრები (შრიფტის ზომები, ფერები, ფორმები, ინფორმაციის ასახვის მეთოდები და ა.შ.) წინასწარ ჩაწერილია FLASH-მეხსიერებაში და კონტროლერის მეშვეობით იქიდან იტვირთება ვიდეოადაპტერის ოპერატიულ მეხსიერებაში. FLASH-მეხსიერებაში ინფორმაციის ჩაწერა ხდება პერსონალური კომპიუტერის მეშვეობით და თუ მომხმარებელს ეკრანზე გამოტანილი შაბლონის პარამეტრების შეცვლა სურს, ასევე პერსონალური კომპიუტერის გამოყენება მოუწევს.

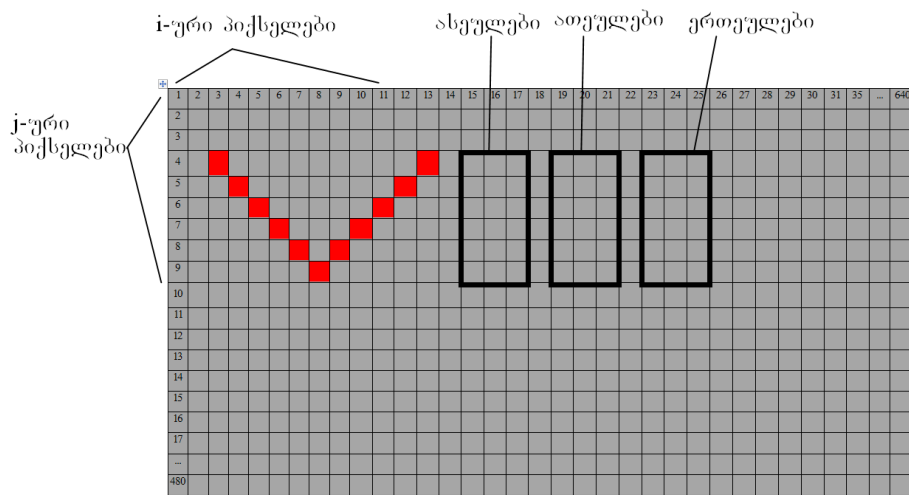
ახლა დავუშვათ, რომ ეკრანზე გამოტანილი შაბლონის რეზოლუცია არის 640X480 (სტანდარტული VGA). ჰორიზონტალური სტრიქონის პიქსელები აღვნიშნოთ i სიმბოლოთი, ხოლო ვერტიკალური სტრიქონის პიქსელები - j სიმბოლოთი (ნახ. 2.35)



ნახ. 2.35. მონიტორის ეკრანი

სიმარტივის მიზნით დავუშვით, რომ ეკრანზე გამოგვაქვს ციფრული ხელსაწყოს ერთი რეგისტრიდან ამოკითხული ერთი პარამეტრის მნიშვნელობა. პარამეტრი აღნიშნულია V სიმბოლოთი, ხოლო მისი რიცხვითი

მნიშვნელობის საჩვენებლად გამოყოფილია სამი თანრიგი (ასეულების, ათეულების და ერთეულების). შესაბამისად, მაქსიმალური რიცხვი, რომელიც შეიძლება გამოისახოს ეკრანზე, არის 999. ეკრანის ფონი არის ნაცრისფერი, ხოლო ციფრული ხელსაწყოდან მიღებული ინფორმაცია (პარამეტრის რიცხვითი მნიშვნელობა) გამოგვაქვს წითელ ფერად (ნახ. 2.36).



ნახ. 2.36. მონიტორზე გამოტანილი გამოსახულების შაბლონი

ახლა გავიხსენოთ, რომ ციფრული მოწყობილობის რეგისტრებიდან ამოკითხული RS485 სიტყვიდან დაგვრჩა n ბიტისგან შემდგარი ინფორმაცია, რომელიც RS485($n:0$) სიმბოლოთი აღვნიშნეთ. გარდა ამისა, სიმარტივის მიზნით დაშვებული გვაქვს, რომ ინფორმაცია ამოკითხულია ციფრული გამზომი ხელსაწყოს ერთი რეგისტრიდან და ასახავს რაიმე ერთი გაზომილი პარამეტრის (ამ შემთხვევაში V -ის) რიცხვით მნიშვნელობას. ვინაიდან გაზომილი პარამეტრის რიცხვითი მნიშვნელობის ასახვისთვის გამოყოფილია სამი თანრიგი (ასეულების, ათეულებისა და ერთეულების), RS-485($n:0$) სიტყვა აუცილებელია დაიყოს თანრიგების შესაბამის სამ კომპონენტად (თითოეული კომპონენტი მოიცავს ბიტების გარკვეულ რაოდენობას):

- 1) RS-485($T_1:0$) – ერთეულების თანრიგის შესაბამისი ინფორმაცია;
- 2) RS-485($T_2:T_1+1$) – ათეულების თანრიგის შესაბამისი ინფორმაცია;
- 3) RS-485($T_3:T_2+1$) – ასეულების თანრიგის შესაბამისი ინფორმაცია.

ახლა დავუბრუნდეთ ნახ. 2.36-ს სურათს და მონიტორის თითოეული პიქსელი $P(i;j)$ სიმბოლოთი აღვნიშნოთ, სადაც i არის პიქსელის ჰორიზონტალური კოორდინატი, ხოლო j – პიქსელის ვერტიკალური კოორდინატი. ცხადია, რომ გამოსახული რიცხვითი მნიშვნელობის ასეულების თანრიგისთვის გამოყოფილია $P(15;4)$ - $P(17;9)$ პიქსელები, ათეულების თანრიგისთვის – $P(19;4)$ - $P(21;9)$ პიქსელები, ხოლო ერთეულების თანრიგისთვის – $P(23;4)$ - $P(25;9)$ პიქსელები. აქედან გამომდინარე, RS-485($T_1:0$) ინფორმაცია (ათობით კოდში გადაყვანილი) გამოისახება $P(23;4)$ - $P(25;9)$ პიქსელების წითელ ფერად ანთების მეშვეობით, RS-485($T_2:T_1+1$) ინფორმაცია - $P(19;4)$ - $P(21;9)$ პიქსელების წითელ ფერად ანთების მეშვეობით, ხოლო RS-485($T_3:T_2+1$) ინფორმაცია - $P(15;4)$ - $P(17;9)$ პიქსელების წითელ ფერად ანთების მეშვეობით.

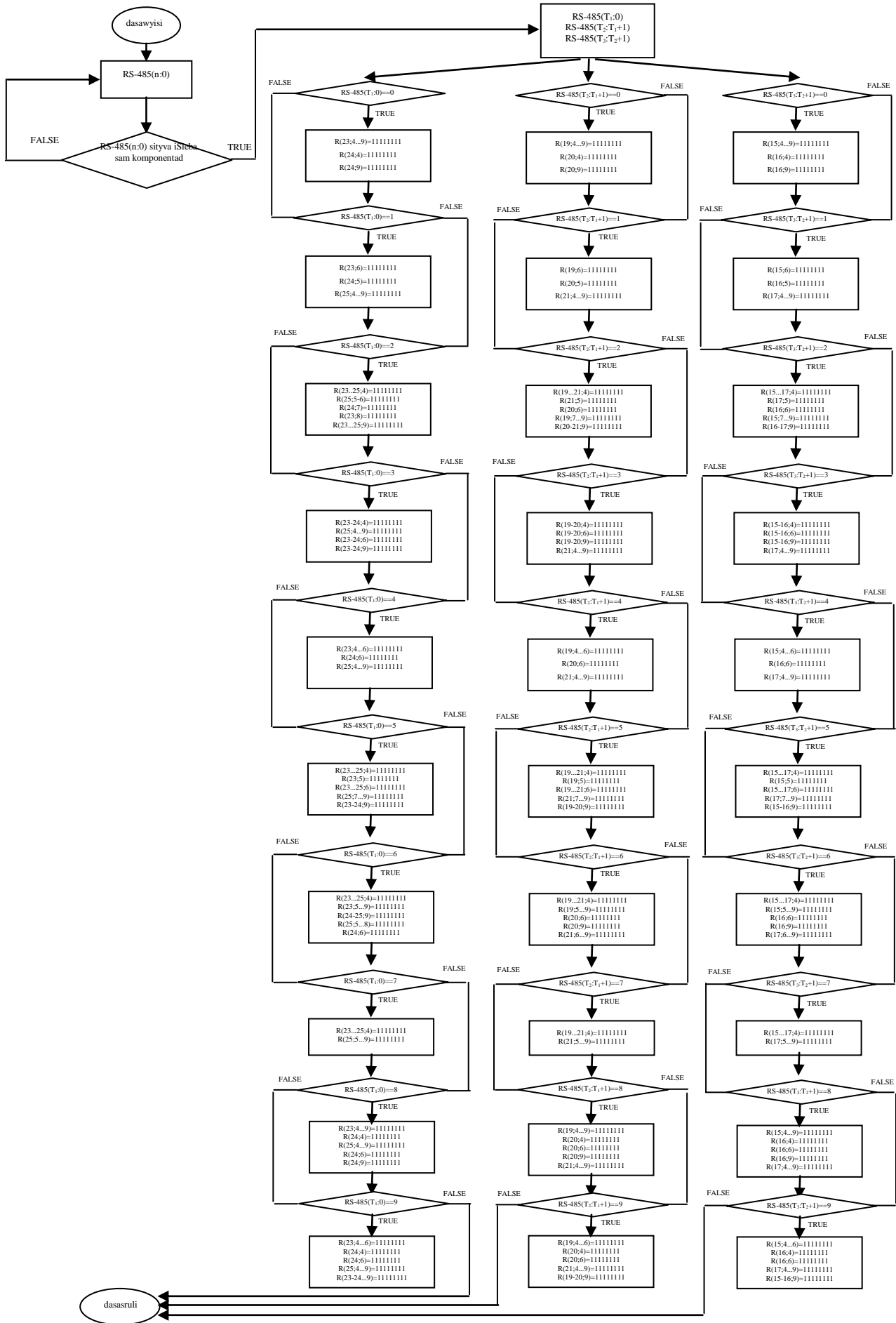
მონიტორზე ინფორმაცია (რიცხვითი მნიშვნელობა) გამოისახება ათობით კოდში, რის გამოც RS-485 სიტყვის სამივე კომპონენტი შეიძლება შიფრავდეს 10 სიმბოლოს 0-დან 9-ის ჩათვლით. თითოეული სიმბოლო ეკრანის შესაბამის მონაკვეთზე გამოიწვევს შესაბამისი პიქსელების ანთებას. თითოეული პიქსელი ფორმირდება სამი ფერის (წითელის, მწვანის და ლურჯის) შერევის შედეგად. ვინაიდან მონიტორზე გამოსახულება ფორმირდება DVI ვიდეოინტერფეისის მეშვეობით, თითოეული ფერის კოდირებისთვის გამოიყენება 8 ბიტი. ჩვენ პირობითად მივიჩნევთ, რომ გაზომილი პარამეტრის მნიშვნელობისთვის გამოყენებული პიქსელი სრულყოფილად წითელი ფერისაა და გააჩნია შემდეგი კოდი:

$$R(i;j)=11111111$$

$$G(i;j)=00000000$$

$$B(i;j)=00000000$$

RS-485 სიტყვის თანრიგების შესაბამის სამ კომპონენტად დაყოფის და შესატყვისი პიქსელების ანთების ალგორითმი (RS-485 სიტყვის გრაფიკულ ინფორმაციად გარდაქმნის ალგორითმი) ნაჩვენებია ნახ. 2.37-ზე.



ნახ. 2.37. RS-485 სიტყვის მონიტორის ეკრანზე გამოტანის ალგორითმი

ალგორითმი, ცხადია, გართულდება, თუ ეკრანზე გამოვსახავთ არა ერთ, არამედ რამდენიმე პარამეტრის რიცხვით მნიშვნელობას, რიცხვითი მნიშვნელობისთვის გამოყილი თანრიგები სამზე მეტია ან გამოზომი ხელსაწყოს ერთი რეგისტრის ნაცვლად ინფორმაცია იკითხება რამდენიმე რეგისტრიდან.

აღნიშვნები

RS-485(n:0) – RS-485 სიტყვა

RS-485(T₁:0) – RS-485 სიტყვის I კომპონენტი (ერთეულების თანრიგის შესაბამისი ინფორმაცია)

RS-485(T₂:T₁+1) – RS-485 სიტყვის II კომპონენტი (ათეულების თანრიგის შესაბამისი ინფორმაცია)

RS-485(T₃:T₂+1) – RS-485 სიტყვის III კომპონენტი (ასეულების თანრიგის შესაბამისი ინფორმაცია)

R(i;j) – ანთებული პიქსელის წითელი სუბპიქსელის კოორდინატი

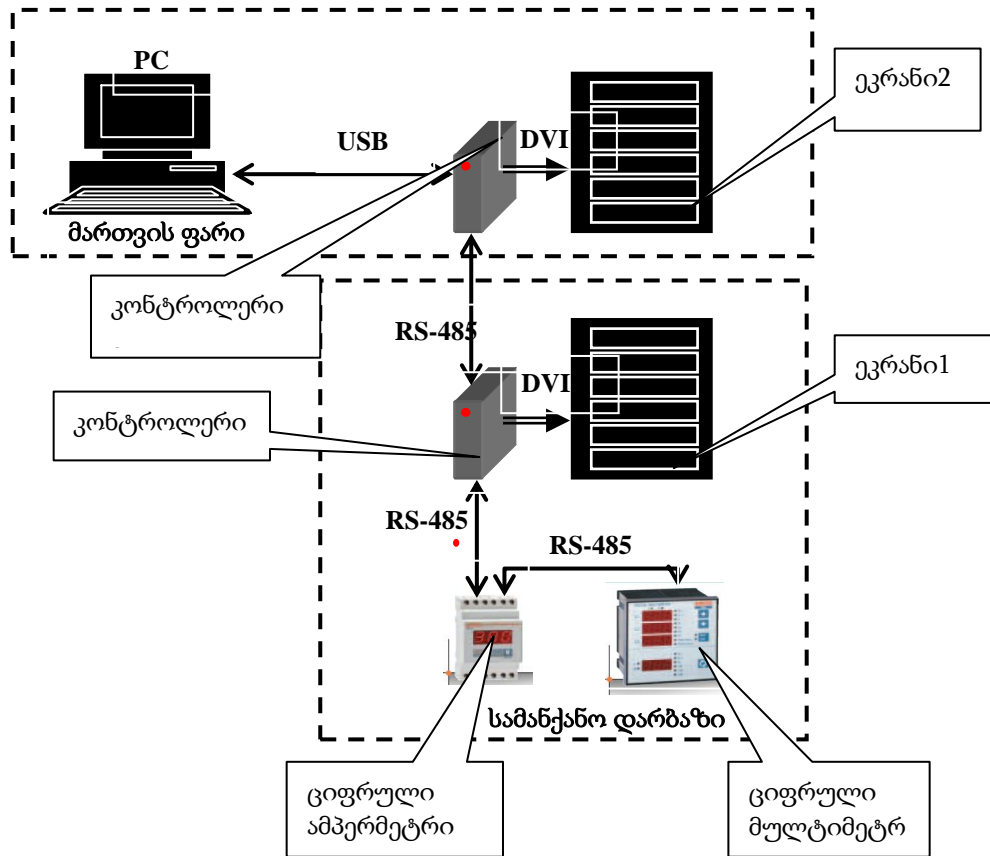
შენიშვნა: სიმარტივის მიზნით ლურჯი და მწვანე სუბპიქსელების (G(i;j); B(i;j)) კოდები ნაჩვენებია არ არის, რადგან ვუშვებთ, რომ ანთებული პიქსელი სრულყოფილად წითელია და ლურჯი და მწვანე სუბპიქსელების კოდი ყოველთვის არის 00000000.

2.5. მაღალი ერგონომიულობის მქონე ინფორმაციის ასახვის ქვესისტემის გამოყენება ენერგეტიკული ობიექტის მონიტორინგისა და მართვის SCADA სისტემაში

ჩვენს მიერ გამოკვლეულია და პირველ თავში აღწერილია ენერგეტიკული ობიექტის მონიტორინგის SCADA სისტემის ელექტრული პარამეტრების გაზომვისა და ასახვის ქვესისტემა.

ჩვენს მიერ შემოთავაზებული მაღალი ერგონომიულობის მქონე ინფორმაციის ასახვის ქვესისტემის დანერგვის შემდეგ ენერგეტიკული

ობიექტის მონიტორინგისა და მართვის SCADA სისტემის არქიტექტურა ნაჩვენებია ნახ. 2.38-ზე



ნახ. 2.38. მაღალი ერგონომიულობის მქონე ინფორმაციის ასახვის ქვესისტემის გამოყენება ენერგეტიკული ობიექტის მონიტორინგისა და მართვის SCADA სისტემაში

სისტემა შედგება მართვის ფარის და სამანქანო დარბაზის ქვესისტემებისგან. მართვის ფარის ქვესისტემა მოიცავს კონტროლერ 2-ს და ეკრან 2-ს, ხოლო სამანქანო დარბაზის ქვესისტემა - კონტროლერ 1-ს, ეკრან 1-ს, ციფრულ მულტიმეტრს და ციფრულ ამპერმეტრს. კონტროლერები წარმოადგენს ციფრულ მოწყობილობებს, რომლებიც აგებულნი არიან პროცესორის ბაზაზე, გააჩნიათ მიმდევრობითი პორტები და ერთმანეთს უკავშირდებიან სამრეწველო მიმდევრობითი ინტერფეისის, RS-485-ის მეშვეობით. გარდა ამისა, კონტროლერებს არ გააჩნიათ ოპერაციული სისტემები, რაც კიდევ უფრო ამაღლებს სისტემის საიმედოობას, ვინაიდან

ერთის მხრივ ოპერაციული სისტემის "ჩამოკიდების" შემთხვევაში კონტროლერის გადატვირთვას სულ მცირე რამდენიმე წამი სჭირდება, ხოლო მეორეს მხრივ სისტემა დაცულია ვირუსებისგან.

სისტემა მუშაობს 24-საათიან რეჟიმში. კონტროლერი 1, რომელიც ამ შემთხვევაში წამყვანი მოწყობილობაა, მუდმივად წამოიღებს ელექტრულ მონაცემებს ციფრული მულტიმეტრიდან და ამპერმეტრიდან და ციფრულ ვიდეოინტერფეის DVI-ის მეშვეობით ასახავს ეკრანზე. გარდა ამისა, კონტროლერი 1 ელექტრულ მონაცემებს RS-485 ინტერფეისის მეშვეობით უგზავნის კონტროლერ 2-ს, საიდანაც მონაცემები იმავე ციფრული ვიდეოინტერფეისის მეშვეობით აისახება ეკრან 2-ზე და ხვდება პერსონალურ კომპიუტერში. პერსონალურ კომპიუტერში ხდება მონაცემების დაგროვება და რანჟირება სხვადასხვა ჭრილში. ამავდროულად, პერსონალური კომპიუტერი მაშინ ერთვება საქმეში, თუ აუცილებელია რომელიმე კონტროლერის ხელახლა დაპროგრამება ან მის FLASH-მეხსიერებაში ჩატვირთული პარამეტრების შეცვლა.

დასკვნები

1. განზოგადოებულია არსებული SCADA სისტემების ერგონომიული მაჩვენებლები და გაკეთებულია დასკვნა, რომ რიგ შემთხვევებში ვერ ხერდება მოთხოვნილი პირობების დაკმაყოფილება.
2. დადგენილია SCADA სისტემების ერგონომიული ეფექტურობის კრიტერიუმები;
3. ნაჩვენებია მრავალფუნქციურობის პრინციპის გამოყენების პერსპექტიულიობა SCADA სისტემებში;
4. დამუშავებულია მაღალი ერგონომიულობის მქონე SCADA სისტემის მოდელი;
5. დამუშავებულია SCADA სისტემის ერგონომიულობის გაზრდის მეთოდები;
6. დამუშავებულია მაღალი ერგონომიულობის მქონე SCADA სისტემის არქიტექტურა და ფუნქციონირების ალგორითმები;
7. ნაჩვენებია SCADA სისტემის დამუშავებული არქიტექტურის მაღალი ერგონომიულობა.

გამოყენებული ლიტერატურა

1. Пьявченко Т.А.. Проектирование АСУТП в SCADA-системе. учебное пособие по техническим дисциплинам «Автоматизированные информационно-управляющие системы» и «Интегрированные системы проектирования и управления». Таганрог. 2007.
2. Андреев Е.Б., Куцевич Н.А., Синенко О.В. SCADA-системы: взгляд изнутри. М.: Издательство «РТСофт», 2004.
3. Денисенко В.В. Компьютерное управление технологическим процессом, экспериментом, оборудованием. Москва. Горячая Линия - Телеком. 2009.
4. Системы диспетчерского управления и сбора данных (SCADA-системы) Ж. Мир Компьютерной Автоматизации (МКА) №3, 1999.
5. NATIONAL COMMUNICATIONS SYSTEM. TECHNICAL INFORMATION BULLETIN 04-1. Supervisory Control and Data Acquisition (SCADA) Systems. October 2004. (http://www.ncs.gov/library/tech_bulletins/2004/tib_04-1.pdf).
6. Петров И.В. Программируемые Контроллеры. Стандартные языки и приемы прикладного проектирования. М.: СОЛОН-Пресс, 2004.
7. Bailey D., Wright E. Practical SCADA for Industry. Copyright @ 2003, IDC Technologies
8. Ronald L. Krutz. Securing SCADA systems. Wiley Publishing, Inc. 2006.
9. Scada Systems (<http://www.scadasystems.net/>)
10. Coetzee,E. Information Technology for Automation Professionals. Background and Theory. Copyright © 2007 Consultants-Online. (http://www.consultantsonline.co.za/pub/itap_101/html/index.html).
11. Boyer, Stuart A. 2010. SCADA Supervisory Control and Data Acquisition. USA: ISA - International Society of Automation. 2010.
12. "Introduction to Industrial Control Networks". IEEE Communications Surveys and Tutorials. 2012.

13. OFFICE OF THE MANAGER NATIONAL COMMUNICATIONS SYSTEM (October 2004). "Supervisory Control and Data Acquisition (SCADA) Systems". NATIONAL COMMUNICATIONS SYSTEM.
14. Handbook of Human Factors. Edited by Gavriel Salvendy, Purdue University. A Wiley Interscience Publication. John Wiley & Sons. 1991.
15. Сергеев С.Ф. Инженерная психология и эргономика. М.: НИИ школьных технологий, 2008. 176 с.
16. Зинченко В.П., Мунипов В.М., Эргономика: человекоориентированное проектирование техники, программных средств и среды. Москва. "Логос". 2001.
17. Stanton, N.; Salmon, P., Walker G., Baber, C., Jenkins, D. (2005). Human Factors Methods; A Practical Guide For Engineering and Design. Aldershot, Hampshire: Ashgate Publishing Limited.
18. Carrol, J.M. (1997). Human-Computer Interaction: Psychology as a Science of Design. Annu. Rev. Psyc., 48.
19. Wickens, C.D.; Lee J.D.; Liu Y.; Gorden Becker S.E. (1997). An Introduction to Human Factors Engineering, 2nd Edition. Prentice Hall.
20. Brookhuis, K., Hedge, A., Hendrick, H., Salas, E., and Stanton, N. (2005). Handbook of Human Factors and Ergonomics Models. Florida: CRC Press.
21. Dumas, J. S.; Salzman, M.C. (2006). Reviews of Human Factors and Ergonomics. Human Factors and Ergonomics Society.
22. Meister, D. (1999). The History of Human Factors and Ergonomics. Mahwah, N.J.: Lawrence Erlbaum Associates.
23. Armstrong, Thomas J. (2007). Measurement and Design of Work.
24. www.lovatoelectric.com.
25. იმნაიშვილი ლ. ციფრული სისტემების სინთეზის პრინციპების დამუშავება მრავალფუნქციურობის ბაზაზე. თბილისი. 2006.
26. Электронные цифровые вычислительные машины./Под ред-ей Проф К.Г. Самофалова, Киев, "Вища школа", 1976

27. იმნაიშვილი ლ. გამომთვლელი საშუალებების მრავალფუნქციონალური მიმდევრული მოდულების დამუშავება და კვლევა. ავტორეფერატ-თბილისი. 1997.
28. Прангишвили А.И., Имнаишвили Л.Ш. Элементная база вычислительных средств и принцип многофункциональности. Труды ГТУ-75. 1997.
29. ფრანგიშვილი ა., იმნაიშვილი ლ., ბენაშვილი ა. ციფრული მრავალფუნქციური დამაგროვებელი სქემების სინთეზი. - თბილისი. გამომცემლობა "ტექნიკური უნივერსიტეტი", 2006.
30. Мищенко В.А., Козюминский В.Д., Семашко А.Н. Многофункциональные автоматы и элементная база цифровых ЭВМ. Под ред. В.А. Мищенко.-М.: Радио и связь, 1981.
31. იმნაიშვილი ლ.შ., ბედინეიშვილი მ.მ. ციფრული ტექნოლოგიების ელექტროენერგეტიკაში გამოყენების გამოცდილება. სტუ. საერთაშორისო სამეცნიერო-მეთოდური კონფერენცია "ენერგეტიკა: რეგიონული პრობლემები და განვითარების პერსპექტივები". ქუთაისი. 2010
32. Прангишвили А.И., Имнаишвили Л.Ш., Бединеишвили М.М. Система измерения и отображения электрических параметров. Технические и программные средства систем управления, контроля и измерения (УКИ'08). Российская конференция с международным участием. Москва, 2008.
33. იმნაიშვილი ლ., ჩაჩხიანი ე., ბედინეიშვილი მ. ენერგეტიკული ობიექტის მართვის მომხმარებლის ინტერფეისის დამუშავების საკითხისათვის. //ენერჯია, 2009, # 4
34. Романова Е.В., Алексеев В.Л. Обзор российского рынка щитовых электроизмерительных приборов. Газета: №5(45), Май 2004. Энергетика.
35. Кузьминов А.Ю. Интерфейс RS-232. Связь между компьютером и микроконтроллером. – М.: Радио и связь, 2004. – 168 с.: ил.
36. Интерфейс RS-485, описание. (<http://www.contravt.ru/?id=1660>)

37. RS-422 and RS-485. Application Note. B&B Electronics.<http://www.bb-elec.com/bb-elec/literature/tech/485appnote.pdf>.
38. Soltero, M., Zhang, J. RS-422 and RS-485 Standards Overview and System Configurations, Application Report, SLLA070D, Texas Instruments. June 2002–Revised May 2010.
39. Clarke G., Reynders D. Practical Modern Scada Protocols: Dnp3, 60870.5 and Related Systems, Newnes, 2004.
40. Drury B. Control Techniques Drives and Controls Handbook (2nd Edition). 2009.
41. Modbus Organization, Inc. "Modbus FAQ". Modbus FAQ. Modbus Organization, Inc. Retrieved 1 November 2012.
42. Modbus Application Protocol Specification, V1.1b, December 28, 2006.
43. Modbus Application Protocol V1.1b.
44. Mueller S. Upgrading and Repairing PCs. 19th Edition. 2009.
45. Mueller S. Upgrading and Repairing PCs. 20th Edition. 2011.
46. ბენაშვილი ა. პერიფერიული მოწყობილობების ინტერფეისები. „ტექნიკური უნივერსიტეტი“. 2006. – 125 გვ.:ილ.
47. ბენაშვილი ა. პერსონალური კომპიუტერის არქიტექტურა. „საზოგადოებრივ მეცნიერებათა უნივერსიტეტი“. 2007. – 433 გვ.:ილ.
48. Digital Display Working Group. Digital Visual Interface (DVI). Revision 1.0. April 2, 1999.
49. Kruegle, Herman (2006). "8". CCTV Surveillance: Analog and Digital Video Practices And Technology. Butterworth-Heinemann.
50. DDWG promoters (1999-04-02). Digital Visual Interface (PDF). Revision 1.0: Initial Specification Release.
51. Silicon Image. Digital Visual Interface & TMDS Extensions. October 2004.
52. http://www.xprt.ru/index.php?option=com_content&task=view&id=85&Itemid=46

53. Explanation of different LCD monitor technologies, "Monitor buying guide - CNET Reviews", Eric Franklin, Retrieved September 2012.
54. Explanation of different LCD monitor backlight technologies, "Monitor LED Backlighting", TFT Central. Retrieved September 2012.
55. "LCD Panel Technology Explained". Retrieved 13 January 2012.
56. www.lumel.com.pl.
57. www.atmel.com.
58. Hick, William E.; On the rate of gain of information. Quarterly Journal of Experimental Psychology, 4:11-26, 1952.
59. Raskin J. "The Human Interface. New Directions for Designing Interactive Systems".
60. <http://www.watchdogs.ru/content/view/12/26/>