

მიკროპროცესორული იონომეტრული ანალიზატორის კონცეპტუალური ალგორითმი

თამაზ მაგანია, ზაალ აზმაიფარაშვილი, ელგუჯა ბუცხრიკიძე,

ლევან ზერეკიძე, ოლღა მელიქიძე

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

რეზიუმე

განხილულია იონომეტრული ანალიზატორები, რომელთა მოქმედების პრინციპი ეფუძნება ელექტროდულ წრედში ხსნარში წყალბადის აქტიური იონების პროპორციულ ელექტრო-მამოძრავებელი ძალის გაზომვის პრინციპს. ჩატარებულია მათი კვლევა და გაკეთებულია კლასიფიკაცია მათი შიდა სტრუქტურის მიხედვით. გამოაშკარავებულია ნაკლოვანი მხარეები და შემუშავებულია კრიტერიუმები და მოთხოვნები, რომლებსაც უნდა აკმაყოფილებდნენ თანამედროვე იონომეტრული ხელსაწყოები. შემუშავებულია იონომეტრის კონცეპტუალური ალგორითმი და შერჩეულია ალგორითმის მარეალიზებული მიკროკონტროლერი. მოყვანილია ალგორითმის ბლოკ-სქემა, მიკროპროცესორული იონომეტრის წინა პანელის დიზაინი და გაკეთებულია სათანადო დასკვნები.

საკვანძო სიტყვები: იონომეტრული ანალიზატორი. მიკროპროცესორული ხელსაწყო. მიკროკონტროლერი. მიზნობრივი ელექტროდი. გაზომვის ალგორითმი. დისპლეი.

1. შესავალი

იონომეტრია აერთიანებს ელექტროლიტებში იონების კონცენტრაციის განსაზღვრის სხვადასხვა მეთოდს, რომლებიც ეფუძნებიან გალვანურ ელექტროდულ წრედში გამომუშავებულ წყალბადის აქტიური იონების პროპორციულ ელექტრო-მამოძრავებელი ძალის (ემძ) გაზომვის პრინციპს. ფართო გავრცელება ჰპოვა ხსნარებში წყალბადის იონების კონცენტრაციის განსაზღვრისთვის (წყალბადის იონების აქტიურობა) განკუთვნილმა გალვანურმა გარდამქმნელმა (ე.წ. pH- მეტრები). თუ წყალში გავხსნით მჟავას, მისი მოლეკულების დისოციაციის დროს H იონების კონცენტრაცია გაიზრდება და შესაბამისად შემცირდება OH იონების კონცენტრაცია. ტუტის გახსნის შემთხვევაში კი პირიქით, თუ ხსნარი ნეიტრალურია მაშინ H და OH იონების კონცენტრაციები ერთნაირია და ტოლია 10^{-7} გ-იონი/ლ. მაშასადამე pH=7. pH -ის 7-ზე ნაკლების დროს ხსნარს აქვს მჟავე არე, ხოლო pH -ის 7-ზე მეტის შემთხვევაში კი - ტუტე არე. იონომეტრული ანალიზატორების შესასვლელი წინაღობა უნდა იყოს ძალიან მაღალი - ანუ შემავალი დენის მნიშვნელობა ძალიან მცირეა და შეადგენს 10^{-10} A (ამპერი), ანუ 0,1 nA (მაღალი სიზუსტის ხელსაწყოებისთვის შემავალი დენი შეადგენს 10^{-12} A = 1 pA), სენსორული ელექტროდის (შემავალ) სადენებს შორის იზოლაციის წინაღობა უნდა იყოს არანაკლებ 10^{11} ომი, რაც განპირობებულია მინისაგან დამზადებული მიზნობრივი ელექტროდის (სენსორის) დიდი შიგა წინაღობის არსებობით - ეს ძირითადი მოთხოვნაა წაყენებული თითქმის ყველა სახის იონომეტრული ხელსაწყოებისადმი.

სტატიის მიზანია არსებული იონომეტრული ხელსაწყოების კვლევისა და ანალიზის საფუძველზე, დადგინდეს კრიტერიუმები და მოთხოვნები, რომლებიც წაყენებათ თანამედროვე იონომეტრულ ხელსაწყოებს და შემუშავდეს მათი მოქმედების კონცეპტუალური ალგორითმი, რის საფუძველზეც შემუშავდება ფართე მომხმარებელი-

სათვის ფინანსურად ხელმისაწვდომი მიკროპროცესორული ანალიზატორი, სრულყოფილი მეტროლოგიური, საექსპლუატაციო და ხარისხობრივი მაჩვენებლებით.

2. ძირითადი ნაწილი

ხსნარების მჟავიანობა-ტუტანობის დადგენა, საკმაოდ გავრცელებული და აქტუალური ამოცანაა და ხშირად გვხვდება ისეთ სფეროებში როგორცაა, კვების მრეწველობა, აგრარული სფერო, ქიმიურ წარმოება, სამედიცინო სფერო, სასმელი და ჩამდინარე წყლების ეკოლოგიური კონტროლი და მონიტორინგი, ენერგეტიკასა და თბოენერგეტიკა - საქვებებში წყლის ხარისხის დადგენა და ა.შ. აქედან გამომდინარე წლითი-წლობით იზრდება მოთხოვნა იონომეტრული ხელსაწყოებისადმი და იცვლება მიდგომა მათი მეტროლოგიურ და საექსპლუატაციო მახასიათებლების მიმართ. იონომეტრული ანალიზატორები შეიძლება იყოს ორი ტიპის: სტაციონარული და პორტატიული (საველე მოხმარების). სხვადასხვა სითხეებში მჟავა-ტუტანობის ანალიზისა და უწყვეტი მონიტორინგის პროცესის განსახორციელებლად ორიენტაცია უნდა გაკეთდეს სტაციონალური ტიპის ხელსაწყოებზე

ჩვენ ჩავატარეთ არსებული იონომეტრული ხელსაწყოების შიდა სტრუქტურებისა და ტექნიკური მახასიათებლების მიმოხილვითი ანალიზი [1-5]. კვლევის შედეგად მოვახდინეთ მათი კლასიფიკაცია შიდა სტრუქტურის მიხედვით და არსებული ხელსაწყოები დავეყავით სამ ნაწილად: ანალოგური, ციფრული და მიკროპროცესორული ანალიზატორები. ანალოგურს მიეკუთვნებიან ხელსაწყოები, რომელთა გაზომვის ალგორითმი აგებულია ანალოგური სქემატექნიკის ბაზაზე და საინდიკაციო მოწყობილობა წარმოადგენს ანალოგურ ისრიანი ხელსაწყოს (ვოლტმეტრი ან ამპერმეტრი), მაგ. ЭВ-74, pH-262, pH-673 და სხვ.[1]; ციფრულ ხელსაწყოებს მიეკუთვნებიან ისეთი ანალიზატორები, რომელთა შემადგენლობაში შედის ანალოგურ-ციფრული გარდამქმნელი და საინდიკაციო მოწყობილობას წარმოადგენს ციფრული ტაბლო, (ან შეიცავს სტანდარტულ ციფრულ მულტიმეტრს), ხოლო გაზომვის ალგორითმი ასვე რეალიზებულია ანალოგური ელემენტების ბაზაზე, მაგ. pH-100, И-100, И-120 [2] და სხვ.; მიკროპროცესორულ ხელსაწყოებს მიეკუთვნებიან ისეთი ანალიზატორები, რომელთა შემადგენლობაში შედის მიკროპროცესორი ან მიკროკონტროლერი, მაგ. И-135, Metrohm ფირმის 780 pH Meter, MAPK-409, MAPK-409/1, MAPK-509 და სხვ. [1],[3-5]. ციფრული საინდიკაციო მოწყობილობა შესრულებულია ციფრულ-სიმბოლოიანი - LCD, ან გრაფიკული (OLED ან TFT) დისპლეის სახით, გაზომვის ალგორითმის ძირითადი ნაწილი რეალიზებულია მიკროპროცესორის (ან მიკროკონტროლერის) ბაზაზე და შეიცავს მინიმალურ ანალოგურ ელემენტებსა და კვანძებს.

ჩატარებული ანალიზი გვიჩვენებს, რომ უმეტესობა იონომეტრული ანალიზატორები (განსაკუთრებით ანალოგური და ციფრული) უკვე ვერ აკმაყოფილებენ თანამედროვე მოთხოვნებს ან გართულებულ საექსპლუატაციო პირობებში გამოსაყენებლად უვარგისია. გარდა ამისა მხედველობაში უნდა მივიღოთ მაღალი სიზუსტის ხელსაწყოების ფასისა და ხარისხის არახელსაყრელი ფარდობა, რაც ზღუდავს მათ გამოყენებას და ხშირ შემთხვევაში მიუღებელია მომხმარებლებისათვის.

ანალიზის შედეგად დავადგინეთ ის კრიტერიუმები და მოთხოვნები, რომლებსაც უნდა აკმაყოფილებდნენ თანამედროვე იონომეტრული ანალიზატორები:

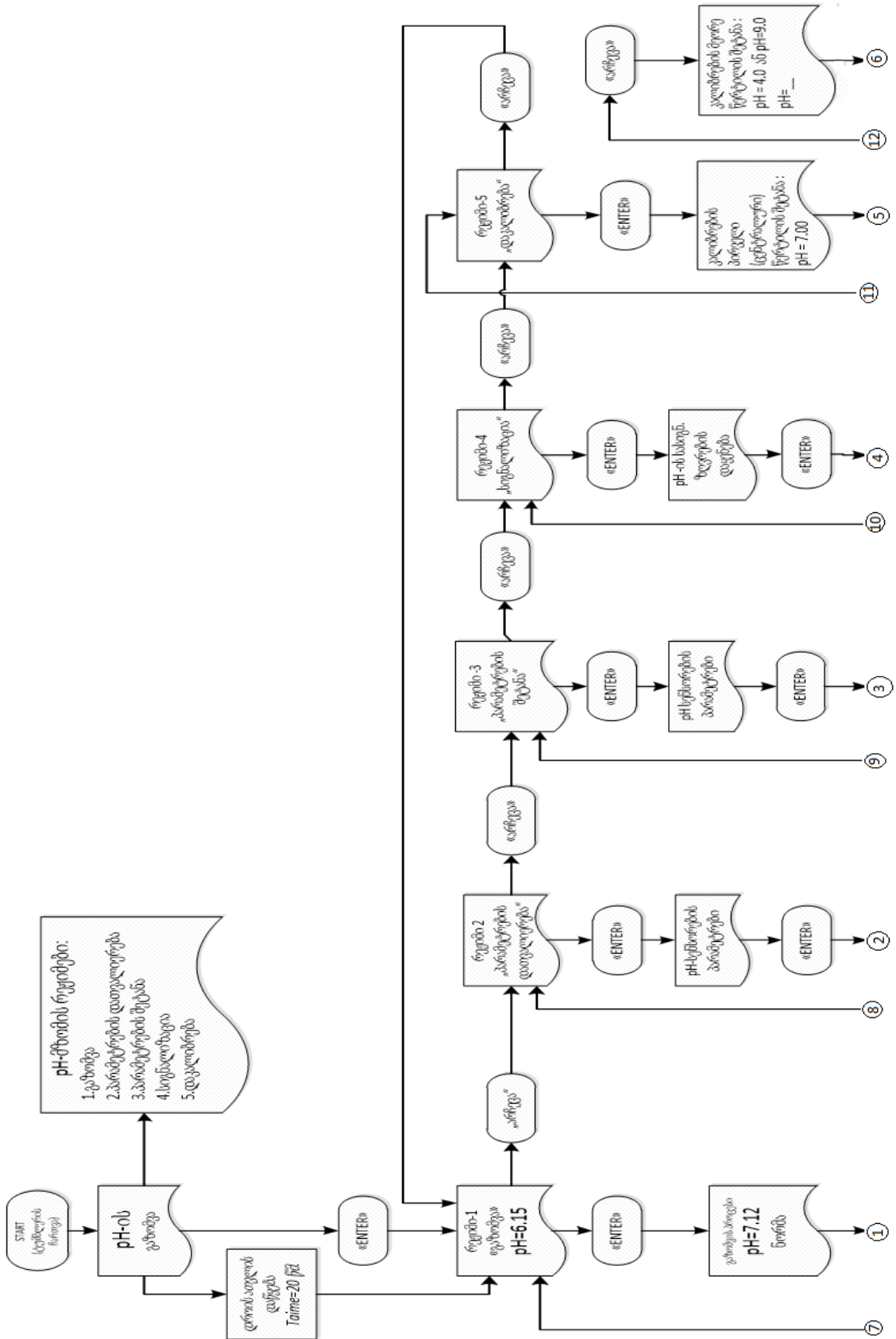
- ხელსაწყოს ექსპლუატაცია უნდა იყვეს მარტივი და ინტუიციურად გასაგები
- უნდა გააჩნდეს ამდღეობული მეტროლოგიური მახასიათებლები და დაბალი თვითღირებულება
 - ციფრული კომუნიკაცია, როგორც ინდივიდუალური ფუნქცია, რომელიც ეფუძნება ინდუსტრიაში მიღებულ ნორმებს (სტანდარტული ინტერფეისების თავსებადობა)
 - ბუფერული ხსნარის ავტომატური ამოცნობა მიზნობრივი სენსორული ელექტროდის (pH, ORP ან ISE- ს)კალიბრაციისათვის
 - სტატისტიკური მონაცემების სწრაფი დამუშავება და დისპლეიზე ასახვა
 - გასაზომი პარამეტრის პროპორციული ანალოგური სიგნალის გამომუშავება
 - ანალიზატორის კონსტრუქცია უნდა შეესაბამებოდეს არსებულ სტანდარტულ დაცვის რომელიმე ხარისხს (მაგ. NEMA 4X ან IEC IP65, IP64 ან სხვ.)
 - ხელსაწყოს პროგრამული უზრუნველყოფა უნდა მოიცავდეს გაზომვის უნივერსალურ (მოდულების pH, ORP ან ISE- ს) ალგორითმებს
 - უზრუნველყოფილი უნდა იყოს სხვადასხვა სახის მიზნობრივი ელექტროდების (სენსორების) თავსებადობა
 - თვითდიაგნოსტიკის ოპერატიული მოდულის არსებობა
 - დისტანციური კავშირი კომპიუტერთან მონაცემთა გადაცემისათვის
 - მონაცემებისა და კალიბრაციის პარამეტრების უსაფრთხო შენახვა
 - მრავალენოვანი (არჩევითი) ვიზუალური ინტერფეისი
 - მაღალი შესასვლელი წინაღობა (არანაკლებ 10^{11} ომი)

მოყვანილი მოთხოვნებისა და დასმული ტექნიკური ამოცანის გათვალისწინებით, შევიმუშავეთ თანამედროვე იონომეტრული ანალიზატორის მუშაობის კონცეპტუალური ალგორითმი (იხ. ნახ.1). ჩვენ მიერ შემოთავაზებული ანალიზატორი სტაციონალური ტიპისაა და გააჩნია მონაცემთა შენახვისა და დაცვის უნარი მკვებავი ძაბვის (ცვლადი ძაბვის ქსელიდან) შემთხვევითი ამორთვების პირობებში, რაც აუცილებელი პირობაა თანამედროვე ხელსაწყოს საიმედოობის და მონაცემთა უსაფრთხოების უზრუნველსაყოფად. შემოთავაზებულ მიკროპროცესორულ pH-მზომს აქვს მუშაობის ხუთი რეჟიმი: 1) გაზომვის; 2) პარამეტრების დათვალიერება; 3) პარამეტრების შეტანა; 4) სიგნალიზაცია; 5) დაკალიბრება. რეჟიმების არჩევა ხორციელდება ღილაკის „ამორჩევა“ (SELECT) - ს საშუალებით, ხოლო რეჟიმების შიგნით პროცედურებს შორის გადასვლა კი - ღილაკის „შეტანა“ (ENTER)- ს მეშვეობით, რაც უზრუნველყოფს ალგორითმის ყველა ბლოკთან კავშირის დამყარებას და შესაბამისი პროცედურის(ან პროცედურების) შესრულებას.

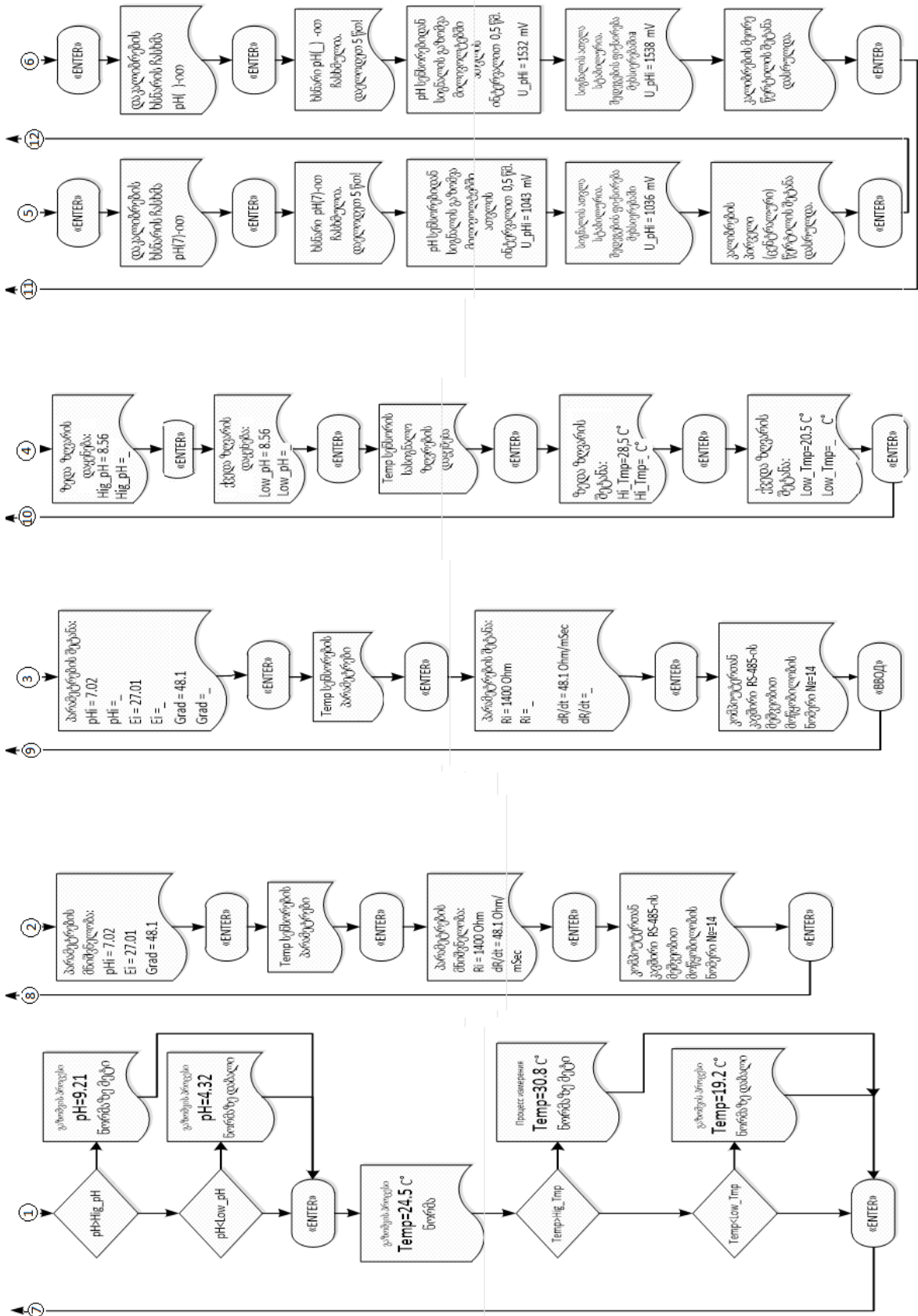
პირველ რეჟიმში ხდება ძირითადი პარამეტრისა და საანალიზო ხსნარის ტემპერატურის გაზომვა. გაზომვის ალგორითმი რეალიზებულია ე.წ. ნერსტის ფორმულის მიხედვით [3], რომლის მოდერნიზაციის შედეგად მივიღეთ მრავალპარამეტრიანი მუშა ფორმულა:

$$pH=f(t^{\circ}C, E_x, S_1, S_2, .. ,S_n)$$

სადაც $t^{\circ}C$ არის საანალიზო ხსნარის ტემპერატურა (ცელსიუსის სკალით), E_x - ძირითადი გასაზომი ელექტრული პარამეტრია, ხოლო $S_1, S_2, .. ,S_n$ - კონსტანტებისა და აპარატურული პარამეტრების მოქმედი მნიშვნელობებია, რომლებიც ინახებიან მიკროკონტროლერის მონაცემთა (EEPROM) მეხსიერებაში.



ნახ.1 ალგორითმის ბლოკ-სქემა (დასაწყისი)



ნახ.1. ბლოკ-სქემის (გაგრძელება)

მუშა ფორმულაში შედის ის აუცილებელი პარამეტრები, რომლებიც განაპირობებენ სენსორული ელექტროდიდან მიღებული სიგნალის უნივერსალურ გარდაქმნას შემავალი წრედის აპარატურული ფაქტორის გათვალისწინებით, რითაც უზრუნველყოფილია სხვა და სხვა ტიპის მიზნობრივი ელექტროდების სელექციურობა.

მეორე რეჟიმში ხდება პარამეტრების დათვალიერება, ხოლო მესამე რეჟიმში ხორციელდება ამა თუ იმ პარამეტრის მნიშვნელობის შეტანა (ცვლილება). მეოთხე რეჟიმში შესაძლებელია სასიგნალო პარამეტრების დასაშვები ზედა და ქვედა ზღვრების შეტანა (ცვლილება). მეხუთე რეჟიმი განკუთვნილია ხელსაწყოს კალიბრაციისათვის.

ყველა პარამეტრის მნიშვნელობები ფიქსირდება და ინახება მიკროკონტროლერის მონაცემთა ენერგოდამოუკიდებელ მეხსიერებაში, რითაც უზრუნველყოფილია მონაცემთა ეფექტური დაცვა.

მოთხოვნილი ალგორითმის მიხედვით შევარჩიეთ ცნობილი ამერიკული ფირმა microchip - ის RISC არქიტექტურაზე აგებული PIC16F887A ტიპის მიკროკონტროლერი [8]. იგი უზრუნველყოფს მოყვანილი ალგორითმის სრულ რეალიზაციას და პარამეტრების საიმედო შენახვას შიგა მონაცემთა ენერგოდამოუკიდებელ (EEPROM) მეხსიერებაში.

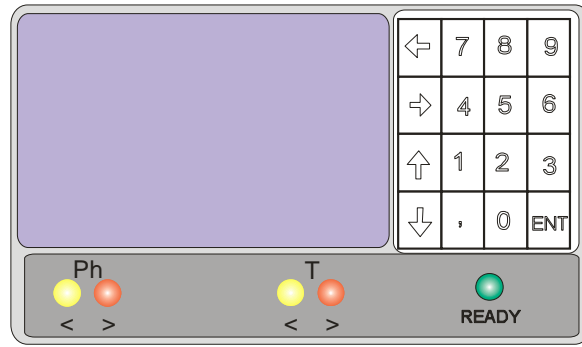
აღნიშნული მიკროკონტროლერის შიგა სტრუქტურა შეიცავს აგრეთვე მონაცემების მიმდევრობით სინქრონიზაციის სქემებს, როგორცაა SPI, I2C, USART და ტაიმერებს TIMER_0 (8თ.), TIMER_1 (16თ.), TIMER_2 (8თ.), რომლებიც უზრუნველყოფს კომპიუტერთან ციფრულ კომუნიკაციას და მიმდევრობითი ინტერფეისის მქონე სხვადასხვა დანიშნულების მიკროელექტრონული მოწყობილობების (მიკროსქემების) მიერთებას მონაცემთა გადაცემისათვის.

მიკროკონტროლერის გარე (შეტანა/გამოტანის) ინტერფეისი შედგება ხუთი პორტისაგან, ამასთან ორი პორტი შეიძლება გამოყენებულ იქნას როგორც ანალოგური შესასვლელები და განხორციელდეს ანალოგური სიგნალების ციფრულ პროპორციულ კოდში გარდაქმნა ჩაშენებული 10 თანრიგა ანალოგურ-ციფრული გარდაქმნელის (აცვ) საშუალებით.

მიკროკონტროლერის ასეთი სტრუქტურა საშუალებას იძლევა მივუერთოთ როგორც ციფრული (7-სეგმენტა ინდიკატორები), ასევე ციფრულ-სიმბოლოანი (LCD) ან გრაფიკული დისპლეი.

დასმული ამოცანის გადასაჭრელად შევაჩერეთ (OLED) ფართოეკრანიანი (დიაგონალით 5,1 inch) გრაფიკული დისპლეი, 240x128 წერტილით და თეთრი (ან მწვანე) ფერის LED განათებით.

ამორჩეული დისპლეის მიხედვით შემუშავდა ხელსაწყოს დიზაინი. ხელსაწყოს წინა პანელის ერთ-ერთი ვერსია მოცემულია მე-2 ნახაზზე.



ნახ.2. ხელსაწყოს წინა პანელი

ფართე და განათებული OLED ეკრანი, ინტუიციურად გასაგები მენიუთი, კონფიგურაციის პროცედურებს ამარტივებს და ხდის ნაკლებად შეცდომიანს. საჭიროების მიხედვით, მომხმარებელს აქვს არჩევანი ძირითად და გაფართოებულ კონფიგურაციას შორის.

ძირითადი კონფიგურაცია უზრუნველყოფს მხოლოდ ყველაზე გავრცელებულ - ცნობადი პარამეტრების ცვლილებას (მაგალითად, დრო, თარიღი), ხოლო გაფართოებული კონფიგურაცია დაცულია პაროლით, რაც მნიშვნელოვნად ამარტივებს კონფიგურაციის პროცედურას და უზრუნველყოფილია მონაცემების დაცვა შემთხვევითი პირებისაგან.

კონფლიქტური სიტუაციის დროს ანალიზატორის ეკრანზე აისახება შესაბამისი შეცდომის სავარაუდო კოდი და მიუთითებს მომხმარებელს არსებული კონფლიქტის აღმოფხვრის გზებს. კალიბრაციის პროცედურები ასევე ხორციელდება მენიუში და ინტუიტიურია. მომხმარებელს შეუძლია აირჩიოს კალიბრაციის პროცედურები დიალოგურ რეჟიმში გათვალისწინებული თანმიმდევრობით.

3. დასკვნა

თანამედროვე მიკროელექტრონიკაში კარგად და ფართოდ განვითარებულმა პირველადმა გარდამქმნელებმა, მიკროსქემატექნიკამ და მიკროპროცესორულმა მართვამ, განუსაზღვრელად გაზარდა ინფორმაციის მიღებისა და დამუშავების სფერო; გაიზარდა გაზომვის დიაპაზონი, სიზუსტე, სწრაფქმედება, რამაც გამოიწვია ხელსაწყობის მიმართ ახალი კრიტერიუმებისა და მოთხოვნების წაყენება.

იქმნება უფრო რთული და მოქნილი ალგორითმები, რომელიც ემსახურება ახალი კლასის მიკროპროცესორული ხელსაწყობის წარმოშობას ამაღლებილი მეტროლოგიური, საექსპლუატაციო და ხარისხობრივი მაჩვენებლებით, მათი ფასის ერთდროულად შემცირების პირობებში. რაც ადრე იყო ხელმიუწვდომელი, დღეისათვის უკვე ყველა პირობაა შექმნილი ამის განსახორციელებლად.

ლიტერატურა-References – Литература:

1. ზედგინიძე ი. (1999). ექსპერტიზა: მეთოდები და საშუალებები. სტუ, საგამომცემლო სახლი „ტექნიკური უნივერსიტეტი“, თბ.
2. Калитчев Р.К., Зедгинидзе И.Г. (1998). Методика и Практика Потенциометрических Измерений. Тб.
3. Баника Ф.Г.. (2014). Химические и Биологические сенсоры:основы и применения. Москва. „Техносфера“
4. აზმაიფარაშვილი ზ., ტომარაძე ი. (2017). სენსორები და ინტელექტუალური საზომი საშუალებები. სტუ, „ტექნიკური უნივერსიტეტი“, თბ.
5. <https://www.metrohm.com/en/products/ph-ion-measurement/>
6. <http://www.zipgomel.by/pX-150mp>
7. <https://ru.wikipedia.org/>
8. <https://www.microchip.com>

**CONCEPTUAL ALGORITHM OF MICROPROCESSOR
IONOMETRIC ANALYZER**

Dzganiya Tamaz, Azmaiparashvili Zaal, Butzhkrikidze Elguja,
Zerekidze Levan, Melikidze Olga
Georgian Technical University

Summary

Ionometric analyzers whose operation is based on the measurement of the magnitude of the electro-driving force (EMF) of the electrode system, which is proportional to the activity of hydrogen ions in the solution, are considered. Their research and classification were carried out according to their internal structure. Their shortcomings were identified and criteria and requirements developed for modern ionometric devices were developed. The conceptual algorithm is developed and the type of the microcontroller realizing the basic algorithm of the Ionometric device is chosen. The block diagram of the algorithm, the design of the front panel of the microprocessor ionometer and the corresponding conclusions are given.

**КОНЦЕПТУАЛЬНЫЙ АЛГОРИТМ МИКРОПРОЦЕССОРНОГО
ИОНОМЕТРИЧЕСКОГО АНАЛИЗАТОРА**

Дзаганиа Т., Азмайпарашвили З., Буцхрикидзе Э.,
Зерекидзе Л., Меликидзе О.
Грузинский Технический Университет

Резюме

Рассматриваются ионометрические анализаторы, принцип действия которых основан на измерении величины электродвижущей силы (ЭДС) электродной системы, которая пропорциональна активности ионов водорода в растворе. Были проведены их исследования и классификация по их внутренней структуре. Выявлены их недостатки и выработаны критерии и требования, предъявляемые к современным ионометрическим устройствам. разработан концептуальный алгоритм и выбран тип микроконтроллера, реализующий основной алгоритм ионометрического прибора. Приведена блок-схема алгоритма, дизайн передней панели микропроцессорного ионометра и сделаны соответствующие выводы.