

Торайғыров университетінің
ҒЫЛЫМИ ЖУРНАЛ

НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ
Торайғыров университета

ТОРАЙҒЫРОВ УНИВЕРСИТЕТІНІҢ ХАБАРШЫСЫ

Физика-математикалық сериясы
1997 жылдан бастап шығады



ВЕСТНИК ТОРАЙҒЫРОВ УНИВЕРСИТЕТА

Физико-математическая серия
Издается с 1997 года

ISSN 2710-3536

№ 1 (2021)
Павлодар

НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ ТОРАЙГЫРОВ УНИВЕРСИТЕТ

Физико-математическая серия

выходит 4 раза в год

СВИДЕТЕЛЬСТВО

о постановке на переучет периодического печатного издания,
информационного агентства и сетевого издания
№ KZ95VPY00029553

выдано

Министерством информации и общественного развития
Республики Казахстан

Тематическая направленность

публикация материалов в области физики, математики,
механики и информатики

Подписной индекс – 76135

<https://doi.org/10.48081/EOJL7907>

Бас редакторы – главный редактор

Тлеукенов С. К.

доктор ф.-м.н., профессор

Заместитель главного редактора

Кумеков С. Е., *к.ф.-м.н., доцент*

Ответственный секретарь

Талипов О. М., *доктор PhD*

Редакция алқасы – Редакционная коллегия

Оспанов К. Н., *д.ф.-м.н., профессор*

Кутербекоев К. А., *д.ф.-м.н., профессор*

Ибраев Н. Х., *д.ф.-м.н.*

Ткаченко И. М., *д.ф.-м.н., профессор (Испания)*

Демкин В. П., *д.ф.-м.н., профессор (Россия)*

Qadir Abdul *доктор PhD, профессор (Пакистан)*

Lobiyal D. K. *доктор PhD, профессор (Индия)*

Лапчик М. П. *д.пед.н., профессор (Россия)*

Шокубаева З. Ж., *технический редактор*

За достоверность материалов и рекламы ответственность несут авторы и рекламодатели

Редакция оставляет за собой право на отклонение материалов

При использовании материалов журнала ссылка на «Вестник Торайгыров университета» обязательна

А. С. Шутанова, Д. Б. Жұмабеков

Өл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті,
Қазақстан Республикасы, Алматы қ.

ТУННЕЛЬДІК ДИОДТЫҢ ВОЛЬТ-АМПЕРЛІК СИПАТТАМАСЫН ЗЕРТТЕУДІ АВТОМАТТАНДЫРУ

Өлшеуді автоматтандыру мәселесі көптеген жылдар бойы өзекті болып табылады. Өлшеулерді автоматтандыру әдеттегі біртектес әрекеттерден құтылуда және адам факторымен енгізілген қателікті айтарлықтай азайтуға мүмкіндік береді. Мақаланың мақсаты туннельдік диодтың вольт-амперлік сипаттамасын зерттеуді автоматтандыруды микроконтроллер көмегімен жүзеге асыру болып табылады. Өлшеуді автоматтандыру жүйесі – бұл тұтынушыға ұсыну, бақылаудың, диагностиканың, сәйкестендірудің логикалық функцияларын іске асыру мақсатында өлшеу ақпараттарын алуға, оны қайта құруға, өңдеуге арналған функционалдық біріктірілген өлшеу, есептеу және басқа да қосалқы техникалық құралдардың жиынтығы. Өлшеуді автоматтандыру жүйесі тұтынушыға өлшеумен бірге автоматты жинауды, ұсынууды, беруді, есте сақтауды, тіркеуді және өңдеуді қоса алғанда, бақыланатын объектінің барлық қажетті ақпараттық сервисін қамтамасыз етеді. Бұл мақалада аналогты-сандық түрлендіргіш және оның ерекшеліктері, Atmega328 микроконтроллері, оның құрылымы, жұмыс істеу принципі мен негізгі параметрлеріне қысқаша түсінік беріледі. Сонымен қатар, автоматтандыру туралы теориялық түсінік көрсетіледі. Arduino Uno арқылы алға қойылған мақсат, яғни туннельдік диодтың вольт-амперлік сипаттамасын зерттеуді автоматтандыру эксперименттік түрде жүзеге асырылады. Автоматтандыруды эксперименттік түрде шешу барысында Proteus программалау ортасы қолданылады.

Кілтті сөздер: туннельдік диод, вольт-амперлік сипаттама, Arduino Uno микроконтроллері, автоматтандыру, аналогты-сандық түрлендіргіш.

Кіріспе

Өлшеуді автоматтандыру мәселесі көптеген жылдар бойы өзекті болып табылады. Оның дамуының неғұрлым белсенді кезеңі 1970 жылдары басталды және микроэлектронды құрылғыларды кеңінен пайдалануды бастаумен, сандық аппаратураны және өлшеу құралдарын, микропроцессорлар мен микро-ЭЕМ енгізумен байланысты болды [1]. Жартылай өткізгішті өнеркәсіпте өлшеуді автоматтандыру аспаптарды зерттеу, жобалау және жасау процесіндегі ажырамас буын болып табылады. Өлшеулерді автоматтандыру әдеттегі біртектес әрекеттерден құтылуға және адам факторымен енгізілген қателікті айтарлықтай азайтуға мүмкіндік береді [2].

Өлшеудің кез келген түрін автоматтандыру үшін екі деңгейде жұмыстар жүргізу қажет:

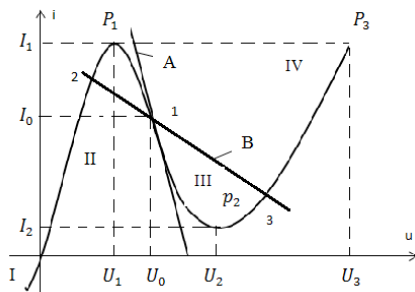
- өлшеу аспаптары, шаралар және өлшеу кешендері;
- ақпараттық-өлшеу жүйелері (АӨЖ).

Бұл мақалада Arduino Uno арқылы алға қойылған мақсат, яғни туннельдік диодтың ВАС-ын зерттеуді автоматтандыру эксперименттік түрде жүзеге асырылады. Автоматтандыруды эксперименттік түрде шешу барысында Proteus программалау ортасы қолданылады.

Материалдар мен әдістер

1958 жылы жапон физигі, Токио университетінің профессоры Лео Эсаки жартылай өткізгішті құрылғыны ашты, содан кейін көп ұзамай туннель диоды немесе Эсаки диоды деп аталды. Туннельдік диод деп аталу себебі – оның жұмысы кванттық механикадағы белгілі туннельдік әсерге негізделген. Өте аз кедергісі бар туннельдік диод өзгешеленген топқа жатады [3].

Туннельдік диодтың вольт-амперлік сипаттамасы төмендегідей негізгі параметрлермен сипатталады: вольт-амперлік сипаттаманың максимумына (шыңына) сәйкес келетін ток шамасы және ток максимум болған кездегі диодтың кернеу мәні; вольт-амперлік сипаттамасының минимумына сәйкес минималды ток шамасы және минимум кернеу мәні [4].



Сурет 1 – Туннельдік диодтың вольт-амперлік сипаттамасы [5]

Теріс кернеу кезінде р-п өткеліндегі туннельдік әсердің арқасында диодтың кері тогы өте жақсы өседі (I – суреттегі I аумақ). Қысқа тура ығысу кезінде кернеудің ұлғаюымен ток сызықты өседі, содан соң ток максимумға жеткеннен кейін терең минимумға түседі (II аумақ), соңында ығысу одан әрі ұлғайған кезде ток экспоненциалды өседі (IV аумақ). Құлау аумағы сипаттамасында келтірілген көлбеу жанамамен анықталатын туннельдік диодтың теріс кедергісі () дифференциалды деп аталады.

Жұмыс нүктесінің орналасуына тәуелді дифференциалды теріс кедергінің модулі келесідей түрде анықталады:

$$|-R_A| = \frac{du}{di} \quad (1)$$

Туннельдік диодына кейде интегралдық кедергі көрсетіледі:

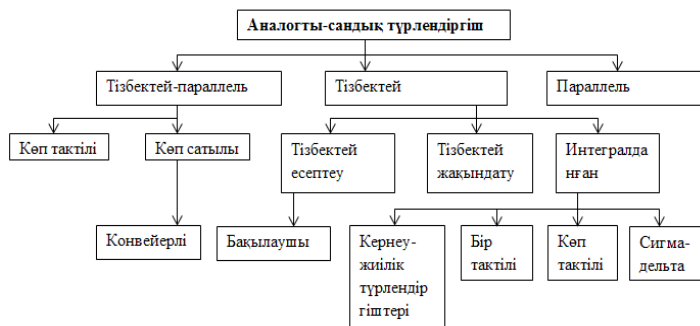
$$|-R_A| = (U_2 - U_1)/(I_2 - I_1) \quad (2)$$

яғни, орташа мән – теріс дифференциалды кедергінің модулі.

Atmega328 микроконтроллері RISC-архитектурасы (Reduced Instruction Set Computing), яғни командалардың шектеулі жиынтығы архитектурасы негізінде салынған [6]. Көрсетілген архитектура қолданудың негізгі салалары үшін бағдарламалардың көп санын статистикалық талдау нәтижесінде анықталған барынша қолданылатын командалардың қысқартылған жиынтығын пайдаланады. Құрылымның қарапайымдылығы мен командалардың аздығы микропроцессор-ядрода аппараттық орындауды және деректерді тез конвейерлік өндеуді толығымен жүзеге асыруға мүмкіндік береді. RISC-тің баламасы CISC-архитектурасы (Complex Instruction Set Computing), яғни әр түрлі күрделіліктегі командалар жиынтығы машиналық тіл деңгейінде іске асырылатын командалардың толық жиынтығы бар архитектура болып табылады. RISC-архитектураның ерекшелігі – ол арифметикалық операцияларды жылдамдатуға бағытталған және CISC-архитектурасы негізіндегі процессорларға қарағанда жоғары жылдамдыққа жауап береді [7]. RISC-архитектурасының негізгі ерекшеліктері:

- бір тактте кез-келген операцияны орындау;
- деректерді өндеу операциялары «регистр-регистр» форматында іске асырылады»;
- жоғары деңгейдегі бағдарламалау тілдерінде компиляция үшін командалардың ыңғайлы құрамы.

Радиоэлектрондық және есептеуіш техниканың жүйелері мен құрылғылардағы ақпаратты өндеудің дәлдігі мен жылдамдығын арттыру кен қолданылатын аналогты-сандық және сандық-аналогты түрлендіргіштерін (АСТ және САТ) жылдам әрекет ететін бір кристалды схемаларының үлкен класын әзірлеуді талап етті.

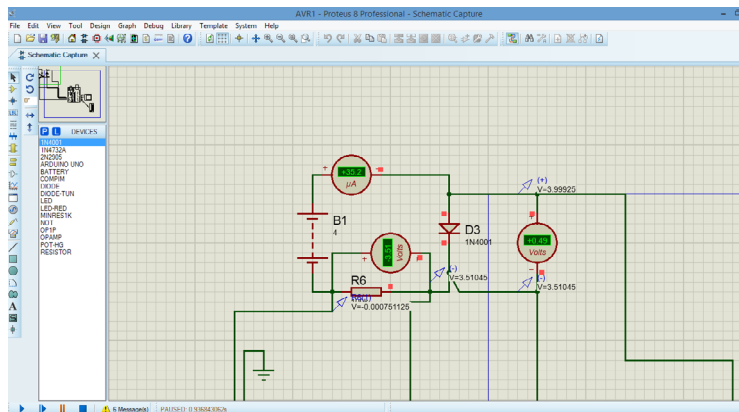


Сурет 2 – АСТ жіктелуі [8]

Аналогты-сандық түрлендіргіштер АСТ кіріс аналогты сигналдарды қабылдайтын және оларға сәйкес келетін басқа сандық құрылғылар мен микропроцессорларды өндеуге жарамды сандық сигналдарды генерациялайды [9]. Өртүрлі физикалық шамаларды сандық түрге тікелей түрлендіру мүмкіндігі жоққа шығарылмайды, алайда бұл міндет осындай түрлендіргіштердің күрделілігіне байланысты сирек жағдайларда ғана шешілуі мүмкін. Сондықтан қазіргі уақытта физикалық табиғатта өртүрлі шамаларды алдымен электрлік, содан кейін кернеу – код түрлендіргіштернің көмегімен сандық шамаларға түрлендіру әдісі неғұрлым ұтымды болып табылады [10].

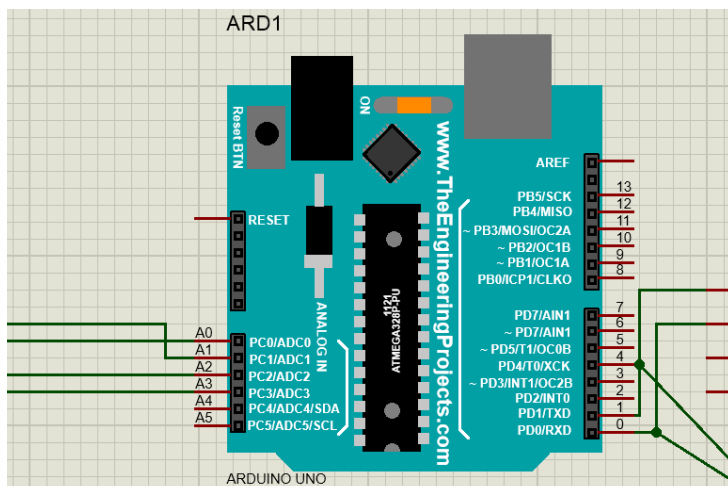
Нәтижелер мен талқылау

Proteus программалау ортасында диодтың схемасы салынды және автоматизациялауды жүзеге асыру үшін Arduino Uno микроконтроллері пайдаланылды.



Сурет 3 – Диодтың Proteus-тағы алынған схемасы

3 – суретте тізбекке R кедергі тізбектей жалғанды. Оның мәні 100 кОм-ға тең деп алынды. Қорек көзі ретінде қарапайым battery элементі пайдаланылды. Е қорек көзіне 1-ден 5-ке дейін мәндер 0,5 қадаммен берілді. Сол кездегі туннельдік диодтың ток пен кернеу мәндері, яғни амперметр мен вольтметр мәндері шығысына жіберілді. Arduino Uno микроконтроллерінің A0 кірісіне туннельдік диодтың кернеуін өлшейтін вольтметр көрсеткішінің оң мәні жалғанды, ал теріс мәні микроконтроллерінің A2 кірісіне жалғанды.



Сурет 4 – Proteus программалау ортасындағы Arduino Uno микроконтроллері

Arduino Uno микроконтроллерінің кірісіне келген сигнал аналогты сигнал болып табылады. Сол үшін қажет нәтижеге жету үшін, яғни микроконтроллермен жұмыс істеу барысында кіріс сигналды сандық түрге айналдыру қажет болды. Ол үшін аналогты-сандық түрлендіргіш пайдаланылды. Алынған мәндерді шығысқа жіберетін программа жазылды. Айтылған үрдістерді жүзеге асыру үшін, сондай-ақ Arduino Uno микроконтроллеріне программа жазу үшін Arduino программалау ортасы көшірілді. Arduino құрылғыларын программалау тілі C/C++ негізінде жасалған. Ол игеруге оңай және қазіргі уақытта микроконтроллердегі құрылғыларды программалаудың ең ыңғайлы тәсілі болып табылады.

Arduino программалау ортасына жоғарыда аталған үрдістерді жүзеге асыру үшін программа жүзінде келесі код жазылды:

```
int sensorPin0 = A0;
int sensorPin2 = A2;
int sensorPin1 = A1;
int sensorPin3 = A3;
// the setup routine runs once when you press reset:
void setup() {
// initialize serial communication at 9600 bits per second:
  Serial.begin(9600);
}
// the loop routine runs over and over again forever:
void loop() {
// read the input on analog pin 0:
float Voltage_value0 = analogRead (sensorPin0);
/*Serial.println(Voltage_value0);*/
float voltage0 = (Voltage_value0 * 5)/1024;
/*Serial.println(voltage0);*/
float Voltage_value1 = analogRead (sensorPin1);
float voltage1 = (Voltage_value1 * 5)/1024;
float Voltage_value3 = analogRead (sensorPin3);
float voltage3 = (Voltage_value3 * 5)/1024;
float Voltage_value2 = analogRead (sensorPin2);
/* Serial.println(Voltage_value1);*/
float voltage2 = (Voltage_value2 * 5)/1024;
/*Serial.println(voltage1);*/
float subtraction_value = (voltage0 - voltage2);
Serial.println(subtraction_value);
float subtraction_value2 = (voltage1 + voltage3);
float I = subtraction_value2*10;
Serial.println(I);
```

Микроконтроллердің А0 кірісін Pin0-ге тең деп, А1 кірісін Pin1-ге, солай сияқты Pin2 және Pin3-ке сәйкесінше теңестіріп алынды. Содан соң, ол кіріс Pin-дарды voltage_value, яғни туннельдік диодтың кернеу мәніне деп теңестіріліп алынды (сәйкесінше Pin0-ді voltage_value0-ге, Pin1-ді voltage_value1-ге т.с.с.). Алынған мән 5-ке көбейтіліп (5 В), 1024-ке бөлінді. Себебі бізге көрсетіліп отырған мәнді қажет шкалаға келтіріп алу қажет болды. Осы функция қалған 1-ші, 2-ші және 3-ші кернеу үшін де орындалды.

Туннельдік диодтың вольтметрiнiң оң жағы мен терiс жағы көрсетiлген мәндердi бiр-бiрiнен азайта отырып, вольтметрдiң көрсеткiшi шығысына жiберiлдi. Сол алынған кернеу мәні virtual terminal арқылы serial.println() көмегімен экран бетіне шығарылды.

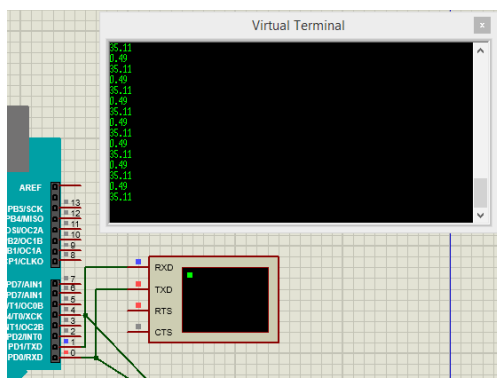
Ал ток мәнін алу үшін тізбекке R кедергіні тізбектей жалғап, оның кернеуі вольтметрдің көмегімен жоғарыда атап өтілген командалар бойынша табылды. Осыдан ток мәні қарапайым Ом заңы арқылы анықталды:

$$I = \frac{U}{R} \quad (3)$$

мұндағы U – вольтметр көрсеткіші, R – тізбекке тізбектей қосылған кедергі (біздің жағдайда 100 кОм), I – туннельдік диодтың Е корек көзін өзгертіп отырған кездегі токтың мәні. Arduino программалау ортасында шығысқа шығарылған токтың мәні келесідей түрде өрнектелді:

$$I = subtraction_value2 * 10 \quad (4)$$

мұндағы subtraction_value2 – тізбекке R кедергі жалғанған кездегі оның кернеу мәні.

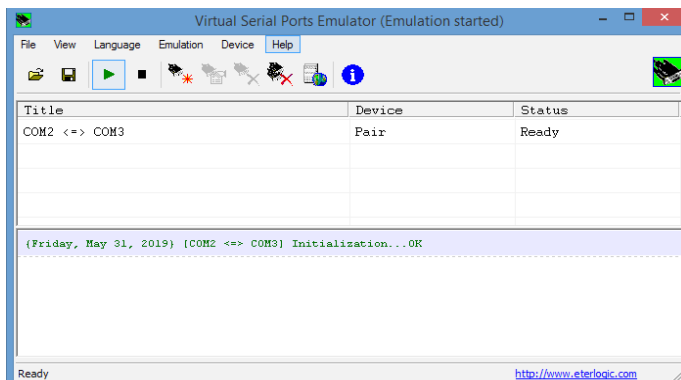


Сурет 5 – Proteus программалау ортасындағы сигнал шығысы және Virtual Terminal көрінісі

Arduino Uno микроконтроллерінің шығысындағы кернеу мен ток мәндері Virtual Terminal көмегімен экранға шығарылды. 5 – суретте Virtual Terminal-дың (виртуалды терминал) Rx пен микроконтроллердің Tx және керісінше, микроконтроллердің Rx пен Virtual Terminal-дың Tx айқастырылып жалғанды.

Proteus программалау ортасынан алынған мәндерді, деректерді шығысында шығару үшін, яғни кернеу мен ток мәндерінен график тұрғызу үшін MatLAB программасы қолданылды.

Proteus программалау ортасынан алынған мәндерді MatLAB программалау ортасына жіберу үшін Virtual Serial Port Emulator программасы қолданылды. Ол үшін Proteus программалау ортасында ComPim құрылғысын алып, оның ішінен физикалық порт COM2 таңдап алынды және физикалық, виртуалды жылдамдықтары 9600 бод тең деп алынды. Содан соң Virtual Serial Port Emulator программасында COM3 порты таңдалынды. Яғни, Proteus программалау ортасындағы мәліметтерді MatLAB программалау ортасынан оқып, график тұрғызылды.



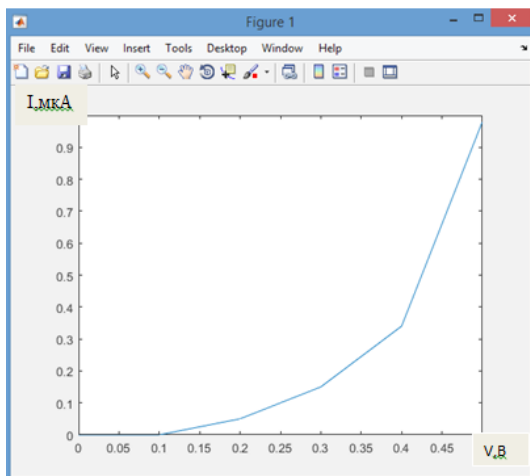
Сурет 6 – Virtual Serial Port Emulator программасы

MatLAB программалау ортасына келген мәліметтерді оқып, кернеудің токқа тәуелділік графигін тұрғызу үшін келесі командалар орындалады:

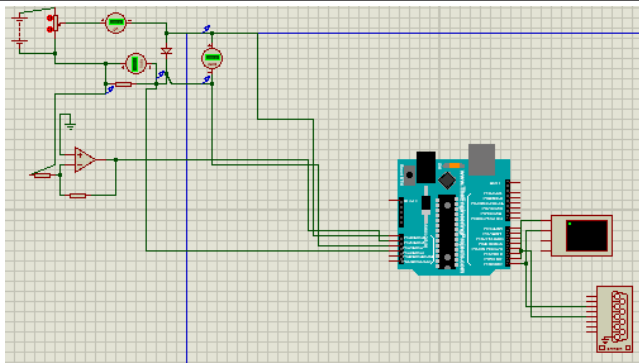
```
clear;  
clc;  
y = [];  
V = 0:0.1:0.5;  
I = [];  
j = 2;  
k = 0;
```

```
s = serial('COM3');  
fopen(s)  
while j < 7  
f = fscanf(s,'%f');  
if(~(ismember(f,I)))  
I(j) = f;  
j = j+1;  
end  
end  
plot(V,I)  
fclose(s);
```

Кернеудің мәні 0-ден 0,5-ке дейін 0,1 қадаммен берілді. Proteus программалау ортасынан COM2 порт арқылы келген токтың мәндері жазып алынды және қайталанған мәндерді жазып алмас үшін while циклі құрылды, яғни жаңа мән келмейінше массивке ешнәрсе жазылмайды. Осыдан алынған ток пен кернеудің мәндерінен plot командасы арқылы график тұрғызылды(7-сурет).



Сурет 7 – MatLAB программалау ортасында алынған диодтың BAC-ы



Сурет 8 – Туннельдік диодтың ВАС-ын зерттеуді автоматтандырудың Proteus программалау ортасындағы компьютерлік моделі

Қорытынды

Бұл мақалада туннельдік диодтың ВАС-ын зерттеуді автоматтандыру бойынша толық зерттеулер жүргізілді. Қазіргі таңда жартылай өткізгішті өнеркәсіпте өлшеуді автоматтандыру аспаптарды зерттеу, жобалау және жасау процесіндегі ажырамас буын болып табылады. Өлшеулерді автоматтандыру әдеттегі біртектес әрекеттерден құтылуға және адам факторымен енгізілген қателікті айтарлықтай азайтуға мүмкіндік береді. Алға қойылған мақсатқа жету үшін MatLAB, Proteus программалау орталарында қажетті схемалар жиналып, командалар орындалды.

Туннельдік диодтың вольт-амперлік сипаттамасын зерттеуді автоматтандыру үшін жазылған қажет командалар Arduino программалау ортасында жазылды. Кернеудің мәні 0-ден 0,5-ке дейін 0,1 кадаммен алынды, сәйкесінше токтың мәні программалау ортасында автоматты түрде есептелінді. Proteus программалау ортасынан алынған мәліметтер MatLAB программалау ортасына жіберу үшін Virtual Serial Port Emulator программасы қолданылды. COM порт арқылы жіберілген мәліметтерден MatLAB программалау ортасында қажет командалар жазу арқылы диодтың вольт-амперлік сипаттамасы автоматты түрде шығарылды.

Пайдаланған деректер тізімі

1 2450 үлгідегі SourceMeter® SMU аспабының көмегімен диодтардың қарапайым вольт-амперлік сипаттамасы // Өтінімге ескертпелер сериясы, 2013. – нөмірі 3225

2 **Шишкин, Г. Г., Агеев, И. М.** Нанoeлектроника. Элементтер, аспаптар, құрылғылар // Бином. Білім зертханасы, 2011. – 408 б.

3 **Платт, Ч.** Электрондық компоненттер энциклопедиясы. 1-том. – Петербург, 2017. – 352 б.

4 **Кочегурова, Е. Ф.** Есептеу математикасының есептерін шешуге арналған MatLAB жүйесінің ерекшеліктері: оқу құралы // Томск политехникалық университетінің баспасы, 2013. – 110 б.

5 **Петин, В.** Arduino контроллерін қолданатын жобалар. – Петербург, 2015. – 350 б.

6 **Гандер, В., Гржебчек, И.** Maple және MATLAB қолдану арқылы ғылыми есептеулердегі есептерді шешу. – «Вассамедина» баспасы, 2005 ж. – 520 б.

7 **Поршнев, С. В.** Жұмыс және бағдарламалау негіздері. Оқулық. –»Бином. Білім зертханасы», 2006 ж. – 320 б.

8 **Челогин, П. М., Афанасьев, Г. К.** Эксперименттік графиктерді талдауды автоматтандыру. – М.: Энергия, 2002. – 120 б.

9 **Ревич, Ю. В.** Қызықты электроника. – СПб.: БХВ-Петербург, 2015. – 576 б.

10 **Хрулев, А.** Диодтар және олардың шетелдік аналогтары. 1-том. – Радиософт, 2001. – 640 б.

References

1 2450 úlgidegi SourceMeter ® SMU aspabyynyń kómegimen diodtardyń qaraпaуm vólt-amperlik sıpattamasy. [Keithley a Tektronix Company Easy I-V Characterization of Diodes Using the Model 2450 SourceMeter® SMU Instrument] //Application Note Series - 2013 - Number 3225

2 **Shishkin, G.G., Ageev, I. M.** Nanoelektronika. Elementter, aspaptar, qurylgylar. [Nanoelectronics. Elements, devices] // Binom. Knowledge laboratory, 2011. – 408 p.

3 **Platt, Ch.** Elektronдық komponentter ensiklopediasy [Encyclopedia of electronic components]. – Petersburg, 2017. – 352 p.

4 **Kochegurova, E. F.** Esepteу matematikasynyń esepтерin sheshýge arналған MatLAB júiesiniń ereksheликтери: oқý quraly. [Features of the MatLAB system for solving problems of computational mathematics: textbook] // Publishing of Tomsk Polytechnic University, 2013. – 110 p.

5 **Petin, V.** Arduino kontrollerin qoldanatyn jobalar. [Projects using the Arduino controller]. – Petersburg, 2015. – 350 p.

6 **Gander, V., Grzeschik, I.** Maple және MATLAB қолдану арқылы ғылыми есептеулердегі есептерді шешу. [The solution of problems in scientific calculations using Maple and MATLAB]. – Publishing «Massmedia», 2005. – 520 p.

7 **Porshnev, S. V.** Жұмыс және бағдарламалау негіздері. Оқылық. [Fundamentals of work and programming. Textbook]. – «Binom. Laboratory of knowledge», 2006. – 320 p.

8 **Chelogin, P. M., Afanasyev, G. K.** Эксперименттік графиктерді талдауды автоматтандыру. [Automation of the analysis of experimental graphs]. – М. : Energy, 2002. – 120 p.

9 **Revich, U. V.** Қызықты электроника. [Interesting electronics]. – Petersburg, 2015. – 576 p.

10 **Khrulev, A.** Дiodтар және олардың шетелдік аналогтары. [Diodes and their foreign analogues]. – Radiosoft, 2001. – 640 p.

Материал баспаға 19.03.21 түсті.

A. С. Шутанова, Д. Б. Жумабеков

Автоматизация исследования вольт-амперной характеристики туннельного диода

Казахский национальный университет имени Аль-Фараби,
Республика Казахстан, г. Алматы.

Материал поступил редакцию 19.03.21.

A. S. Shutanova, D. B. Zhumabekov

Automation of the study of the current-voltage characteristic of a tunnel diode

Al-Farabi Kazakh National University,
Republic of Kazakhstan, Almaty.

Material received on 19.03.21.

Проблема автоматизации измерений актуальна на протяжении многих лет. Автоматизация измерений позволяет избавиться от привычных однообразных действий и значительно уменьшить погрешность, вносимую человеческим фактором. Целью статьи является осуществление автоматизации исследования вольт-амперной характеристики туннельного диода с помощью микроконтроллера. Система автоматизации измерений – это совокупность функционально интегрированных измерительных, вычислительных и других вспомогательных технических средств, предназначенных для получения, преобразования, обработки измерительной информации с целью предоставления

потребителю, реализации логических функций контроля, диагностики, идентификации. Система автоматизации измерений обеспечивает потребителю весь необходимый информационный сервис контролируемого объекта, включая автоматический сбор, представление, передачу, запоминание, регистрацию и обработку вместе с измерением. В данной статье дается краткое объяснение структуры, принципа работы и основных параметров микроконтроллера Atmega328. Кроме того, демонстрируется теоретическое понимание автоматизации. Поставленная цель через Arduino Uno, т. е. автоматизация исследования вольт-амперная характеристика туннельного диода, осуществляется экспериментально. В процессе экспериментального решения автоматизации используется среда программирования Proteus.

Ключевые слова: туннельный диод, вольт-амперная характеристика, микроконтроллер Arduino Uno, автоматизация, аналого-цифровой преобразователь.

The problem of measurement automation has been relevant for many years. Automation of measurements allows you to get rid of the usual monotonous actions and significantly reduce the error introduced by the human factor. The purpose of the article is to automate the study of the current-voltage characteristic of a tunnel diode using a microcontroller. A measurement automation system is a set of functionally integrated measuring, computing and other auxiliary technical means designed to receive, transform, and process measurement information in order to provide the consumer with the implementation of logical control, diagnostics, and identification functions. The measurement automation system provides the consumer with all the necessary information service of the controlled object, including automatic collection, presentation, transmission, storage, registration and processing along with the measurement. This article provides a brief explanation of the structure, operating principle, and basic parameters of the Atmega328 microcontroller. In addition, a theoretical understanding of automation is demonstrated. The goal set through the Arduino Uno, i.e. automation of the current-voltage characteristics tunnel diode research, is carried out experimentally. The experimental automation solution uses the Proteus programming environment.

Keywords: tunnel diode, current-voltage characteristic, Arduino Uno microcontroller, automation, analog-to-digital converter.

Теруге 19.03.2021 ж. жіберілді. Басуға 29.03.2021 ж. қол қойылды.

Электрондық баспа

7,04 Mb RAM

Шартты баспа табағы 8,0. Таралымы 300 дана. Бағасы келісім бойынша.

Компьютерде беттеген А. К. Шукурбаева

Корректор: А. Р. Омарова

Тапсырыс № 3743

Сдано в набор 19.03.2021 г. Подписано в печать 29.03.2021 г.

Электронное издание

7,04 Mb RAM

Усл.печ.л 8,0. Тираж 300 экз. Цена договорная.

Компьютерная верстка А. К. Шукурбаева

Корректор: А. Р. Омарова

Заказ № 3743

«Toraighyrov University» баспасынан басылып шығарылған

«Торайғыров университеті» ҚеАҚ

140008, Павлодар қ., Ломов к., 64, 137 каб.

«Toraighyrov University» баспасы

«Торайғыров университеті» ҚеАҚ

140008, Павлодар қ., Ломов к., 64, 137 каб.

67-36-69

e-mail: kereku@tou.edu.kz

www.vestnik.tou.edu.kz