

УДК 004.31

<sup>1</sup>О.В. Бурбан, к.ф.-м.н., <sup>2</sup>С.В. Луньов, к.ф.-м.н., <sup>2</sup>А.І. Зіміч, <sup>3</sup>Р.С.Демедюк

<sup>1</sup>Волинський коледж НУХТ, м. Луцьк, Україна

<sup>2</sup>Луцький національний технічний університет, м. Луцьк, Україна

<sup>3</sup>Волинський коледж НУХТ, м. Луцьк, Україна

## АВТОМАТИЗАЦІЯ ВИМІРЮВАННЯ ЕЛЕКТРИЧНИХ ПАРАМЕТРІВ НАПІВПРОВІДНИКІВ ПРИ ДОСЛІДЖЕННІ П'ЄЗООПОРУ

**О.В. Бурбан, С.В. Луньов, А.І. Зіміч, Р.С.Демедюк. Автоматизація вимірювання електричних параметрів напівпровідників при дослідженні п'єзоопору.** Здійснено модернізацію установки для дослідження п'єзоопору. Розроблено автоматизовану вимірвальну систему на основі мікроконтролера ATmega8, яка дозволяє проводити вимірювання із високою частотою та передавати результати вимірювань на персональний комп'ютер із подальшим їх збереженням.

**Ключові слова:** мікроконтролер, напруга, аналогово-цифровий перетворювач, автоматизація, ATmega8, п'єзоопір.

**О.В. Бурбан, С.В. Лунёв, А.И. Зимич, Р.С.Демедюк. Автоматизация измерений электрических параметров полупроводников при исследовании пьезосопротивления.** Осуществлена модернизация установки для исследования пьезосопротивления. Разработана автоматизированная измерительная система на основе микроконтроллера ATmega8, которая позволяет проводить измерения с высокой частотой и передавать результаты измерений на персональный компьютер с последующим их сохранением.

**Ключевые слова:** микроконтроллер, напряжение, аналогово-цифровой преобразователь, автоматизация, ATmega8, пьезосопротивление.

**O.V. Burban, S.V. Luniov, A.I. Zimych, R.S. Demediuk. Automation of measurement of electrical parameters of semiconductors in the research of piezoresistance.**

The device for research of piezoresistance was modernized. An automated measuring system based on the ATmega8 microcontroller has been developed. This system allows you to measure with high frequency and transmit the results of measurements to a personal computer with further preservation.

**Key words:** microcontroller, voltage, analog-to-digital converter, automation, ATmega8, piezoresistance.

### Постановка наукової проблеми.

Під час проведення різноманітних наукових досліджень дуже актуальним є питання автоматизації вимірювання фізичних параметрів досліджуваного об'єкту. Використання автоматизованих систем дозволяє збільшити точність вимірювань завдяки швидкодії даних систем та зменшити ймовірність виникнення випадкових похибок пов'язаних із участю експериментатора.

Одним із ефективних методів дослідження напівпровідникових матеріалів є метод п'єзоопору[1]. При даному методі дослідження необхідно одночасно фіксувати три фізичні параметри: спад напруги на досліджуваному зразку, величину одновісного тиску прикладеного до зразка та температуру зразка [2]. Температура зразка вимірюється диференціальною термopарою та визначається за величиною термо-ЕРС термopари. Величина одновісного тиску прикладеного до зразка визначається за вихідною напругою датчика тиску. Таким чином для отримання максимально точних результатів досліджень необхідно одночасно фіксувати три параметри.

### Аналіз останніх досліджень і публікацій.

Велика різноманітність наявних на даний час мікроконтролерів дозволяє створювати на їх основі різного роду прилади та автоматизовані системи. Ці системи та прилади залежно від поставлених задач можуть бути побудовані як на контролерах PIC [6] так і на контролерах на базі ядра AVR або інших[7]. На даний час існує велика кількість приладів та схемотехнічних рішень для вимірювань електричних величин у яких результати вимірювань можуть виводитись як на світлодіодні [4, 9] або LCD індикатори [5, 10] так і передаватись на ПК для подальшої обробки [8].

### Невирішені частини проблеми

Неавтоматизована установка для дослідження п'єзоопору при проведенні вимірювань вимагає участі кількох експериментаторів кожен з яких в одні і ті ж моменти часу фіксуватиме один із параметрів. При проведенні вимірювань із участю лише одного експериментатора буде з'являтися додаткова похибка, оскільки буде проходити певний час між фіксацією показів різних вольтметрів, які мали б фіксуватись одночасно. Застосування ж автоматизованої системи, яка

одночасно фіксувала б всі три напруги, дасть можливість проведення досліджень лише одним експериментатором. Також, така система дозволить фіксувати дані із високою частотою.

**Метою дослідження** є створення автоматизованої системи яка буде фіксувати з високою частотою необхідні фізичні параметри, передавати дані на ПК та записувати отримані дані у файл.

**Основні результати дослідження**

Електрична частина пристрою для дослідження п'єзоопору повинна забезпечувати подачу на зразок стабілізованого постійного струму та автоматичний запис інформації при дослідженнях. Блок-схема електричної частини вимірювальної установки подана на рис. 1.

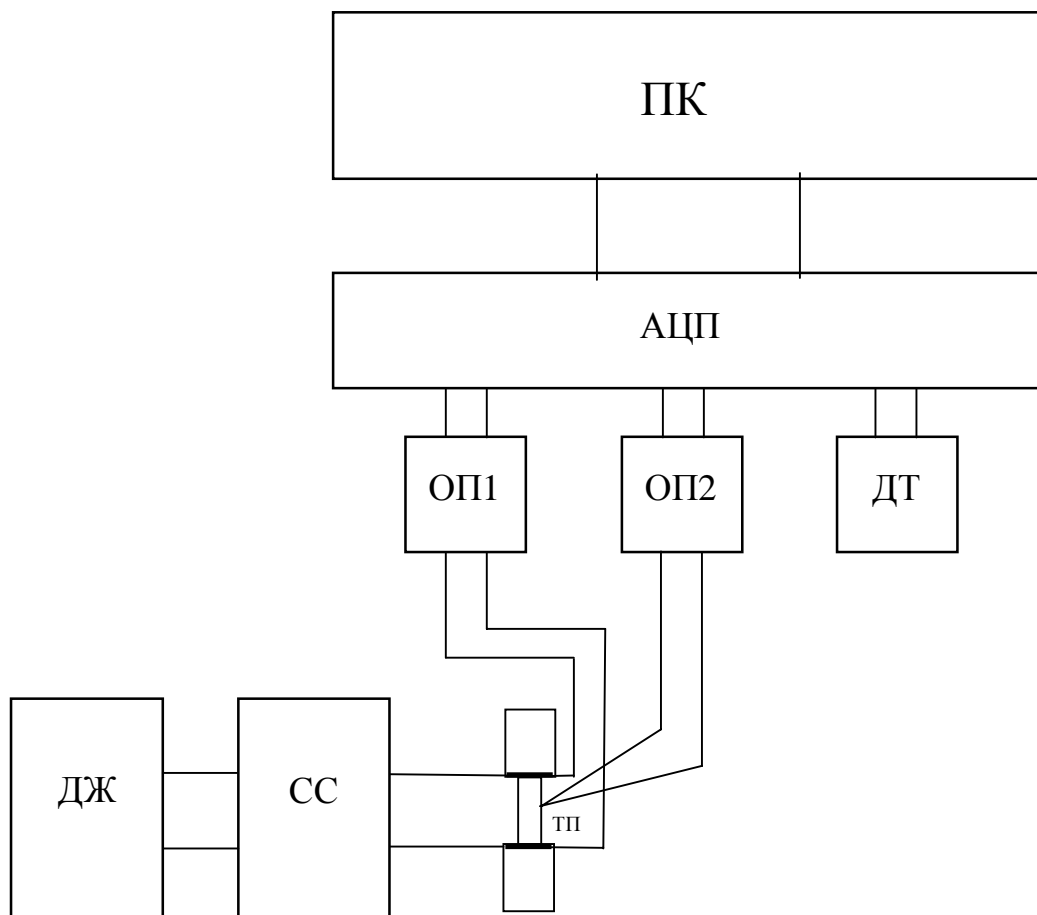


Рис. 1. Блок-схема електричної частини вимірювального пристрою

Така вимірювальна система дає можливість із високою частотою вимірювати постійну напругу та передавати дані в комп'ютер із подальшим їх збереженням у файл. Система складається із операційних підсилювачів для підсилення малих напруг, мікроконтролера із багатоканальним АЦП та персонального комп'ютера (ПК) із відповідним програмним забезпеченням. Для передачі даних від АЦП до ПК використовувався порт USB.

Для вимірювання залежностей  $\frac{\rho_P}{\rho_0} = f(P)$  та  $\rho = f(T)$  на струмові контакти

досліджуваного зразка (ЗР) від джерела живлення (ДЖ) через стабілізатор струму (СС) подається стабілізований постійний струм. Відповідно знятий із зондів спад напруги подається на перший операційний підсилювач (ОП1), який після підсилення сигналу передається на перший канал аналого-цифрового перетворювача (АЦП) мікроконтролера. На другий операційний підсилювач (ОП2) подається сигнал із термопари (ТП), вихідний сигнал із якого передається на другий канал АЦП мікроконтролера. Сигнал із датчика тиску (ДТ) подається на третій канал АЦП мікроконтролера.

Для унеможливлення впливу на роботу електричної частини установки магнітних полів, які створювались струмами в провідниках, при подачі вимірюваної напруги до вимірювального приладу використовувався екранований кабель.

Оскільки спад напруги на зразку та термоЕРС термопари є досить малими за величиною, то для їх підсилення використовувались диференціальні операційні підсилювачі LM358N. Принципова схема включення операційного підсилювача подана на рис. 2.

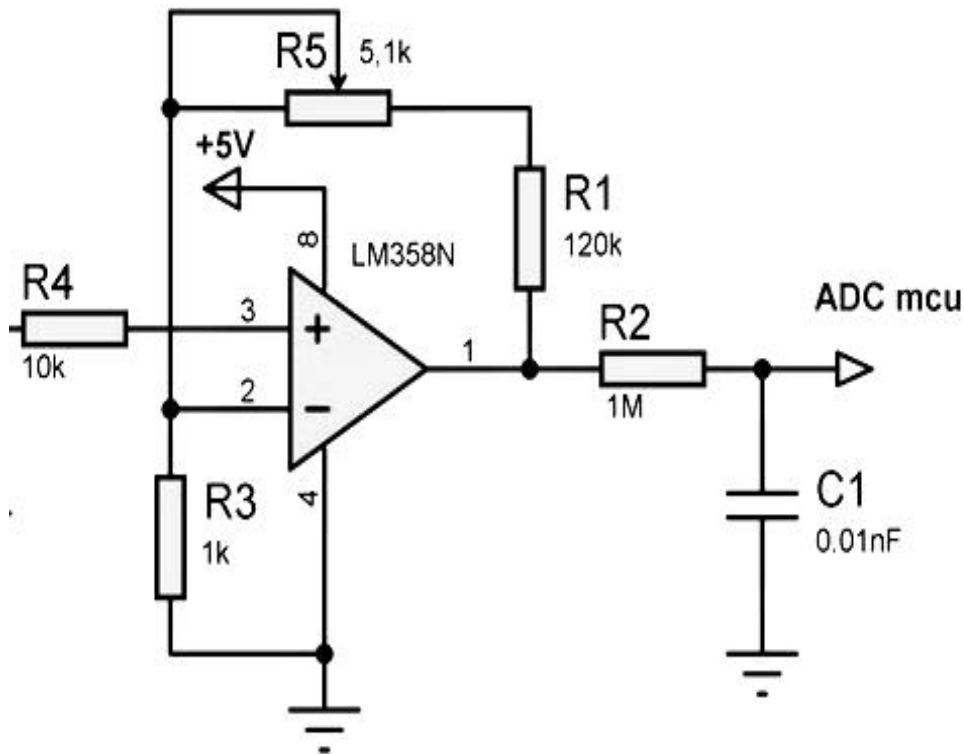


Рис. 2. Принципова схема включення операційного підсилювача

Необхідний коефіцієнт підсилення визначається відношенням опорів резисторів  $R_1$  та  $R_2$ . Для забезпечення надійності роботи операційних підсилювачів живлення здійснювалось від блока живлення із стабілізованою напругою 5 В.

Для створення інформаційно-вимірювальної системи вибирався такий контролер який відповідав би наступним вимогам:

- кількість АЦП повинна бути неменше трьох;
- тактова частота мікроконтролера повинна бути достатньою для нормальної роботи всієї системи;
- контролер повинен мати вбудований таймер;
- об'єм пам'яті програм повинен вмещувати програмний код;
- обсяг оперативної пам'яті має бути достатнім для коректної і швидкої роботи пристрою.

Таким вимогам задовольняє мікроконтролер АТМega8 [3]. Даний мікроконтролер містить необхідні таймери, чотири 10-бітних АЦП, 8 кілобайт постійної пам'яті, 512 байт оперативної пам'яті та може працювати із тактовою частотою до 16 МГц.

Вихідні сигнали із операційних підсилювачів та сигнал із ДТ подаються на відповідні входи АЦП контролера: In1, In2, In3. Дискретність вимірювальної системи  $U_0$  визначається розрядністю та величиною опорної напруги АЦП мікроконтролера  $U_{on}$ . Даний мікроконтролер є 10-розрядним, тому дискретність визначається із відношення:

$$U_0 = \frac{U_{on}}{1023}. \quad (1)$$

Опорною напругою для АЦП мікроконтролера є його напруга живлення. У даній схемі мікроконтролер живиться від порта USB і відповідною опорною напругою є напруга 5 В. Отже,

згідно з виразом (1), дискретність дано вимірювальної системи складає 4,8876 мВ. Принципова схема АЦП подана на Рис. 3.

Мікроконтролери сімейства AVR не мають стандартних бібліотек для роботи із портом USB, оскільки розроблялись для роботи з COM-портом. Оскільки, майже у всіх сучасних моделях ПК в архітектурі відсутній COM-порт, то набагато доцільніше для зв'язку мікроконтролера з ПК використовувати порт USB. Для вирішення цієї проблеми мікроконтролер підключався до порта USB через перетворювач USB-UART «PL2303».

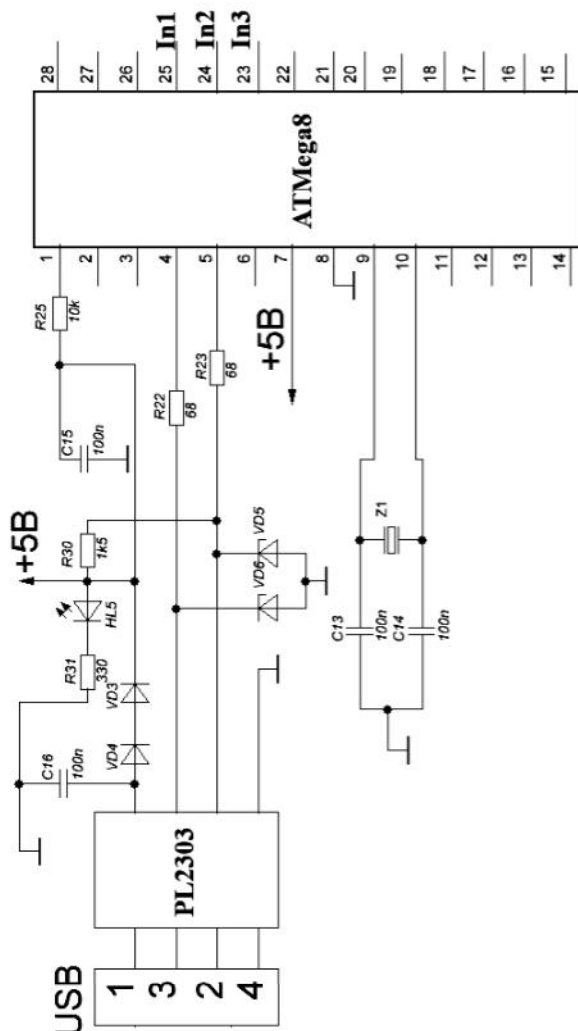


Рис. 3. Принципова схема пристрою

Написання програми мікроконтролера відбувалось у середовищі розробки Arduino IDE. Зручною функцією цього середовища є автоформатування, яке дозволяє виправити огріхи в розмітці скетчу і привести його в легкий для читання вигляд. Також середовище розробки Arduino IDE дозволяє завантажити bootloader на ATmega8. Це дозволяє завантажувати програму в мікроконтролер із використанням перетворювача USB-UART «PL2303» не використовуючи програматор.

Фільтрація шумів відбувалась наступним чином: якщо зміна сигналу була  $\pm 1$  молодший біт, то це значення не враховувалось, а поверталось попереднє.

```

if(filter_sensor[analogPin] > sensor[analogPin] + Noise_level ||
   filter_sensor[analogPin] < sensor[analogPin] - Noise_level){
   filter_sensor[analogPin] = sensor[analogPin];
}
    
```

Програмне забезпечення, яке дозволяє працювати із перетворювачем USB-UART «PL2303», є у вільному доступі, а також безоплатним. Нами використовувався додаток «Serial

Oscilloscope». Цей додаток дозволяє отримувати дані від АЦП, спостерігати графічно зміну сигналу у часі та зберігати дані у файл із розширенням «\*.csv». Збережені табличні дані із файла надалі можна обробляти в різних прикладних програмах таких як Microsoft Excel, Microsoft Word, Maple, MathCad та ін.

**Висновки** Розроблена автоматизована вимірювальна система значно оптимізує процес вимірювання п'єзоопору, особливо для області низьких температур, швидкість зміни яких може бути досить високою. Велика кількість вимірів за одиницю часу дозволяє отримати залежності шуканих параметрів у вигляді функцій близьких до неперевних. Це дозволяє проводити теоретичний аналіз одержаних результатів та з високою точністю проводити їх апроксимацію.

В подальшому варто розглянути можливість вдосконалення даної системи додавши можливість вимірювання величини магнітних полів, що може бути використано при дослідженнях тензо-холл-ефекту. Також ця вимірювальна система може бути використана при дослідженні гальваноманітних, термоелектричних та оптичних властивостей напівпровідників в швидкозмінних температурних полях.

1. Полякова А. Л. Деформация полупроводников и полупроводниковых приборов / А. Л. Полякова. – М. : Наука, 1979. – 168 с.
2. Коломеец В. В. Установка для исследования электрофизических свойств полупроводниковых материалов в условиях низкотемпературной пластической деформации / В. В. Коломеец, Б. А. Сусь // ПТЭ. – 1975. – № 4. – С. 214 – 215.
3. Королев Н. AVR-микроконтроллеры: программные средства [Электронный ресурс] / Н. Королев, Д. Королев // 5. – 2000. – Режим доступа до ресурсу: <http://cyberleninka.ru/article/n/avr-mikrokontrollery-programmnye-sredstva>.
4. Вольтамперметр НА мікроконтролері АТМЕГА8 у лабораторний БЖ [Електронний ресурс]. – 2013. – Режим доступу до ресурсу: <http://ua.nauchebe.net/2013/06/voltampermetr-na-mikrokontroleri-atmega8-u-laboratornij-bp/>.
5. Модернізація бортового комп'ютера на АТМЕГА8 [Електронний ресурс]. – 2014. – Режим доступу до ресурсу: <http://infomillions.ru/850-modernizacija-bortovogo-komp-jutera-na-atmega8.html>.
6. Wilmshurst T. Designing Embedded Systems with PIC Microcontrollers. Principles and applications/ T. Wilmshurst. – Newnes, 2006. – 584p.
7. Deshmukh A. Microcontrollers: Theory and Applications. / A. Deshmukh. – Tata McGraw-Hill Education, 2005. – 334 p.
8. Подключение микроконтроллера к компьютеру [Электронный ресурс]. – 2014. – Режим доступа до ресурсу: <http://radiolaba.ru/microcotrollers/podklyuchenie-mikrokontrollera-k-pk.html>.
9. Цифровой амперметр и вольтметр для блока питания [Электронный ресурс]. – 2013. – Режим доступа до ресурсу: <http://www.kondratev-v.ru/izmereniya/cifrovoj-ampmetr-i-voltmetr-dlya-bloka-pitaniya.html>.
10. Милливольтметр на PIC16F676 [Электронный ресурс]. – 2016. – Режим доступа до ресурсу: <http://www.kondratev-v.ru/izmereniya/millivoltmetr-na-pic16f676.html>.