

Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу

Інститут інформаційних технологій  
Інформаційно- вимірювальних технологій

Розлуцький Василь Васильович  
(прізвище, ім'я, по батькові)

УДК 681.511.42  
(індекс)

## МАГІСТЕРСЬКА РОБОТА

Розроблення інформаційно-вимірювального приладу для визначення  
параметрів радіоелементів на базі мікроконтролера Atmel

(назва роботи)

Метрологія і вимірювальна техніка  
(назва освітньої програми)

152-Метрологія та інформаційно-вимірювальна техніка  
(шифр і назва спеціальності)

Розлуцький Василь Васильович  
(підпис, ініціали та прізвище здобувача освітнього ступеня)

Науковий керівник Піндус Н.М., к.т.н., доцент  
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

**Допущено до захисту**  
Завідувач кафедри

\_\_\_\_\_  
(посада) (підпис) (дата) (ініціали та прізвище)

Рецензент

\_\_\_\_\_  
(посада) (підпис) (дата) (ініціали та прізвище)

Робота містить результати власних досліджень. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело

Івано-Франківськ  
2024

## ЗМІСТ

ВСТУП.....	
1 ХАРАКТЕРИСТИКА І АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ АНАЛОГІВ ВІТЧИЗНЯНОГО ТА ЗАРУБІЖНОГО ВИРОБНИЦТВА МЕТОДИК РЕМОНТУ ЗАСОБІВ ЗВ'ЯЗКУ ТА ОБЧИСЛЮВАЛЬНОЇ ТЕХНІКИ.....	
2 РОЗРОБКА ПРИЛАДУ ДЛЯ ВИМІРЮВАННЯ ОСНОВНИХ ПАРАМЕТРІВ ДІОДІВ, КОНДЕНСАТОРІВ ТА ТРНЗИСТОРІВ.....	
2.1 Вибір і обґрунтування елементної бази приладу .....	
2.2 Вибір мікроконтролера .....	
2.3 Розроблення електричної принципової схеми.....	
2.4 Розроблення програмного забезпечення приладу .....	
2.5 Технологія виготовлення приладу.....	
3 МЕТРОЛОГІЧНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ РОЗРОБЛЕНОГО ПРИЛАДУ .....	
3.1 Розроблення методики калібрування .....	
3.2 Розроблення методики первинної повірки .....	
3.3 Розроблення методики проведення вимірювань.....	
3.4 Розрахунок надійності спроектованого приладу.....	
ВИСНОВКИ.....	
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ НА ДЖЕРЕЛА.....	
Бібліографічна довідка.....	

## РЕФЕРАТ

Магістерська робота: «Розроблення інформаційно-вимірювального приладу для визначення параметрів радіоелементів на базі мікроконтролера Atmel» РОзлуцький В.В., ІФНТУНГ, 2024 , 54 с., 12 рис., 4 табл., 2 додатків, 8 джерел.

Мета магістерської роботи полягає в розробці засобу для вимірювання параметрів радіоелементів за рахунок використання трьох вимірних клем, трьох подільників, мікроконтролера та виведення інформації на знаковисинтезуючій пристрій.

Об'єкт дослідження. Процес вимірювання параметрів радіоелементів .

Предмет дослідження. Методи та засоби вимірювання параметрів радіоелементів..

Роблені на даний час методи та системи для вимірювання параметрів радіоелементів не є достатньо ефективними для проведення вхідного контролю. У даній роботі розглянуто питання розробки синтезу сучасного засобу вимірювального перетворення параметрів та впровадження його у виробництво. Задачі дослідження:

- а) аналіз існуючих методів та засобів вимірювання параметрів радіоелементів вітчизняного та закордонного виробництва.
- б) визначення недоліків запропонованих засобів та методів.
- в) розробка програмного забезпечення приладу
- г) розробка структурної схеми приладу;
- д) проведення повірки приладу ;
- е) виготовлення дослідного взіця.

ПАРАМЕТРИ РАДІОЕЛЕМЕНТІВ, ПРОГРАМНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ,  
КОНТРОЛЕР, ДІАГНОСТИКА, МЕТРОЛОГІЧНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ,  
ПОВІРКА

## ABSTRACT

Master's thesis: "Development of an information-measuring device for determining the parameters of radio elements based on an Atmel microcontroller" VV ROzlutskyi, IFNTUNG, 2024, 54 p., 12 figures, 4 tables, 2 appendices, 8 sources.

Object of study: The aim of the bachelor work is to develop a means of measurement parameters to account for the use of radioelementov trohli vimirnie terminals trohli podilniki, microcontroller vivedayasya addition of information on znakovsintezuyuchem Pristrom.

Object of study. The process of measurement parameters radioelements.

Subject of study. Methods and means of measurement parameters radioelements ..

And the relevance of the chosen:

Were committed to methods of Denmark hour for a system of measurement parameters radioelementov dostaty is not effective for input control. At present the work is considered food design synthesis tools vimiryuvalnyh Modern Transformation parameters of Implementation yye in production.

Objectives of the study:

- a) analysis methods isnuyuchie the means of measurement parameters radioelements vitchiznyanyy then foreign production.
- b) lack of definition zaproponovani means those methods.
- c) software development pryladnaty
- d) development of structural shoy devices;
- e) calibration of the device;
- e) making research vziyy.

Scientific novelty:

- a) proposals pidvischit quality of work and reduced hours for vimirov repair service that radioelektronnie pryladnaty.
- b) improved methods of measurement equivalent poslidovnaya support capacitor which, unlike existing viznachiti ouch allows accurate real value.

c) proposals diagnosis of motor winding their way vimira value RL.

d) developed a sistematizovana something flexible software allows for quick upgrades pryladnaty vvedeen of new functions for the purposes beloved family Atmel controller types allow something software compilations under dear controller.

The practical value of this work is as follows:

a) The information-vimiryuvalniy device for vimira radioelementov parameters;

b) rorobleno prototype that differs cheapness of manufacture, reliability, versatility, ease of koristuvanni, low power, high accuracy of measurement that diapazonov.

PARAMETERS OF RADIO, SOFTWARE, CONTROLLERS,  
DIAGNOSTICS, SOFTWARE VERIFICATION

## ВСТУП

Магістерська робота розроблена на актуальну тему: «Розроблення інформаційно-вимірювального приладу для визначення параметрів радіоелементів на базі мікроконтролера Atmel

Мета магістерської роботи полягає в розробці засобу для вимірювання параметрів радіоелементів за рахунок використання трьох вимірних клем, трьох подільників, мікроконтролера та виведення інформації на знаковсинтезуючий пристрій.

Об'єкт дослідження. Процес вимірювання параметрів радіоелементів .

Предмет дослідження. Методи та засоби вимірювання параметрів радіоелементів..

Актуальність обраної теми: Роблення на даний час методи та системи для вимірювання параметрів радіоелементів не є достатньо ефективними для проведення вхідного контролю. У даній роботі розглянуто питання розробки синтезу сучасного засобу вимірювального перетворення параметрів та впровадження його у виробництво.

Методи та засоби досліджень – теорія невизначеності і математична статистика

Задачі дослідження:

- а) аналіз існуючих методів та засобів вимірювання параметрів радіоелементів вітчизняного та закордонного виробництва.
- б) визначення недоліків запропонованих засобів та методів.
- в) розробка програмного забезпечення приладу
- г) розробка структурної схеми приладу;
- д) проведення перевірки приладу ;
- е) виготовлення дослідного взіця.

Новизна магістерської роботи:

а) запропоновано підвищити якість роботи та скорочення часу для проведення вимірів по ремонту та обслуговуванню радіоелектронних приладів.

б) вдосконалено метод вимірювання еквівалентного послідовного опору конденсатора який на відміну від існуючих дозволяє точно визначити його реальне значення.

в) Запропоновано проведення діагностики обмоток електродвигунів шляхом виміру їхнього значення  $RL$ .

г) розроблено та систематизовано гнучке програмне забезпечення що дозволяє проводити швидку модернізацію приладу та введенням нових функцій із застосуванням любых типів контролерів сімейства атмел що дозволяє компіляцію програмного забезпечення під любой контролер.

Практична цінність даної роботи полягає в наступному:

а) розроблено інформаційно-вимірювальний прилад для виміру параметрів радіоелементів;

б) розроблено дослідиний зразок який відрізняється дешевизною виготовлення, надійністю, багатифункціональністю, простотою в користуванні ,низькою потужністю, високою точністю та діапазонами вимірювання.

Сьогодні у світі щорічно випускають декілька мільярдів радіоелектронних виробів які споживають 70% загальної кількості електроенергії. Якість радіоелектронних виробів є основним фактором їх конкурентоспроможності на світовому ринку. Необхідний рівень якості закладається на стадії розробки та проектування виробу, а також у процесі виробництва. Розвиток математичного моделювання та широке застосування систем автоматизованого проектування дозволили успішно розв'язати задачі оптимального проектування ослідніх. Тому якість в основному визначається рівнем технологічних процесів їх виготовлення та організацією вимірювальних систем, та їх стану на виробництві. Ефективність виробництва визначається правильним вибором як методології визначення окремих характеристик і параметрів радіоелементів, так і методологією вимірювання їх технічного стану

в цілому. Ефективне визначення технічного стану у процесі виробництва, своєчасне прогнозування причин розлагодження технологічного процесу і засноване на цьому керування якістю виготовлення дозволяє розв'язати актуальні задачі на виробництві. Зокрема, прогнозування стану дозволяє раціонально спланувати проведення регламентних робіт, ремонт та заміну техніки.

Випробування стану являє собою надзвичайно трудомісткий процес із складною методикою визначення окремих параметрів і пов'язані із великими витратами часу та матеріальних ресурсів. Ця проблема ускладнюється тим, що серійно не випускаються засоби вимірювання основних параметрів радіоелементів (еквівалентного послідовного опору, паразитні параметри резисторів індуктивність та ємність.), які необхідні для укомплектування вимірювальних систем та систем технічного діагностування, не випускаються також і випробувальні стенди, і тому промислові випробування недостатньо автоматизовані.

Розроблені на даний час методи та системи для вимірювання параметрів радіоелементів не є достатньо ефективними для приймально-здавальних випробувань та для проведення вхідного контролю. Вони характеризуються складністю й низькою швидкістю, недосконалістю математичного забезпечення. Більшість систем дозволяють визначати лише окремі види браку та не дозволяють прогнозувати розлагодження технологічного процесу виготовлення радіоелементів. Методи вимірювального перетворення параметрів радіоелементів мають низьку точність. Існуючі підходи не дозволяють у повному обсязі розв'язати задачу оцінки якості радіоелементів при їх виготовленні та приймально-здавальних випробуваннях, ремонту радіоелектронного обладнання, здійснити аналіз даних вимірювального перетворення параметрів, синтезувати сучасні схеми і алгоритми функціонування мікроконтролерних вимірювальних засобів. Тому постає питання необхідності розробки якісно нових теоретичних підходів до теорії побудови систем для визначення параметрів радіоелементів, створення нових методів визначення параметрів вимірювання, синтезу сучасних структурних

схем засобів вимірювального перетворення параметрів та впровадження їх у виробництво[1].

Мета магістерської роботи полягає в розробці засобу для вимірювання параметрів радіоелементів за рахунок використання трьох вимірних клем, трьох подільників, мікроконтролера та виведення інформації на знаковитезуючий пристрій.

# **1 ХАРАКТЕРИСТИКА І АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ АНАЛОГІВ ВІТЧИЗНЯНОГО ТА ЗАРУБІЖНОГО ВИРОБНИЦТВА МЕТОДИК РЕМОНТУ ЗАСОБІВ ЗВ'ЯЗКУ ТА ОБЧИСЛЮВАЛЬНОЇ ТЕХНІКИ**

Об'єктом для проведення вимірювань є ремонтні майстерні засобів зв'язку та іншої електронної техніки . Дані підрозділи займаються регламентними профілактично- плановими та відновними ремонтами. В даний час основною проблемою є відновний ремонт який зв'язаний із нестачею техніки зв'язку та її пошкодження, в результаті експлуатації. Не рідко відновлюваний ремонт проводиться в польових умовах, в радіомайстерні або на об'єкті. Як показав досвід, ремонт як правило проводиться без інформаційної підтримки, та із застосуванням радіоелементів закордонного походження що унеможливує їх ідентифікацію . Ремонт блоків ускладнений тим, що для експлуатації техніки в несприятливих умовах а саме підвищена вологість, вібрації , усі друковані плати покриті лаком . Для перевірки стану напівпровідників, та виміру опору а також виявлення пробою або повної деградації конденсаторів використовуються прилади типу Ц43101, Ц4315 , ВУ-15 для вимірювання ємності конденсаторів та індуктивностей застосовують прилад типу Ф4320 та інші. Після визначення дефектного вузла проводять поелементну перевірку радіоелементів шляхом випаювання підозрілих із схеми монтажу, для запобігання впливу на результати вимірів інших елементів схеми , наприклад відкриття переходів транзисторів, відкриття діодів. Пошук непридатного радіоелемента приводить до значного пошкодження лакового покриття а також металізованих елементів друкованого монтажу що приводить до значних втрат часу на відновлення посліднього та зниження надійності виробу. Основними недоліками вимірювальних приладів є великий струм споживання що приводить до швидкого розряду батарей та більшість з них потребують мережевого живлення що не завжди можна реалізувати в польових умовах.

В умовах недостатньої інформаційної підтримки неможливо визначити цокольовку та основні параметри деяких радіоелементів, наприклад ємність переходу діода, яка критична при його застосуванні в балансних змішувачах. Основною несправністю радіоапаратури є висихання електроліту конденсаторів та збільшення його еквівалентного послідовного опору що важко визначити наявними приладами. Equivalent Series Resistance (Еквівалентний Послідовний опір - ЕПО), це один із значних паразитних параметрів електролітичних конденсаторів, в останні роки набув широкої необхідності виміру серед спеціалістів з ремонту радіоелектронної апаратури. Вимірювачі і пробники ESR для багатьох спеціалістів стали приладом першої необхідності нарівні з тестером та мультиметром.

Збільшення ESR конденсатора на декілька Ом, а інколи на декілька десятків Ом, повністю виводить з ладу апарат, в якому він встановлений, що іноді неможливо виявити існуючими вимірювачами ємності які не вимірюють інші параметри конденсаторів. Ремонтна практика показала, що при визначенні ЕПО не потрібно високої точності вимірів при пошуку неполадок а замір ЕПО зводиться до визначення придатний, непридатний. При використанні конденсаторів, наприклад в блоках живлення, конденсатор працює при великих імпульсних струмах і потрібна більш об'єктивна оцінка його стану, а похибка виміру 0,1 Ом має суттєве значення.

На рисунку 1.1 показано, що в діапазоні робочих частот перетворювачів (декілька десятків кГц) реактивний опір конденсатора і паразитній індуктивності в послідовному колі мають значення на порядок менше ЕПО і повного опору перемінному струму. Виходячи з того практично весь струм який в імпульсі може досягати десятків ампер буде виділяти активну потужність на еквівалентному послідовному опорі, розігриваючи електроліт та діелектрик конденсатора.

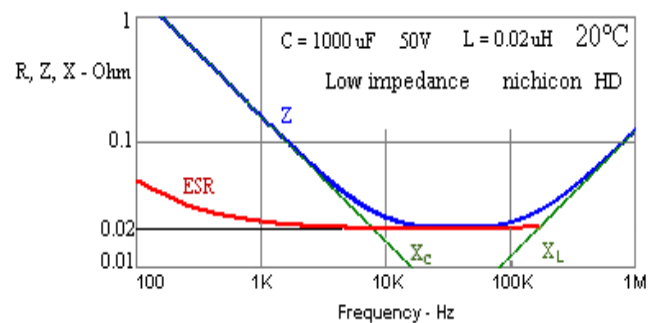
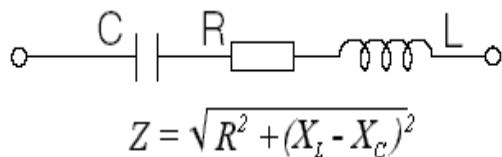


Рисунок 1.1 - Залежність реактивного опору конденсатора в діапазоні робочих частот перетворювачів

кута втрат, відображений в технічній документації виробників електролітичних конденсаторів для частоти 120 Гц (типове значення 0.1-0.22), втрачає свою актуальність на робочих частотах перетворювачів імпульсних джерел живлення, для конденсаторів фільтрів і вторинних випрямлячів буде на порядки більше. Значення активної складової (ESR) тоді можна вирахувати по формулі:

$$R = \sqrt{Z^2 - X^2} \tag{1.1}$$

Наприклад, для конденсатора Jamicon 1000uF 25V серії WL значення Z рівне 0.04 Ом, враховуючи його реактивний опір  $X_c = 0.0016$  Ом для вказаної частоти, можна порахувати значення ESR. В міліомах це буде 39.97 мОм, що не відрізняється від значення вказаного виробником  $Z = 40$  мОм. Тангенс кута діелектричних втрат потерь для даного випадку  $R/X_c$  складе  $39.97/1 = 25$ . Но це буде справедливо для частоти 120Гц на якій і вказують даний параметер заводи виготовлювачі.

Традиційний підхід до діагностування неполадок радіоапаратури складний і трудоемкий, вимірювальні прилади складні у використанні і обслуговуванні.

Для скорочення переліку використовуваних приладів необхідна уніфікація. З метою скорочення часу на пошук непридатного радіоелемента та

запобігання значному порушенню лакового покриття, необхідний прилад який забезпечить необхідні виміри всередині схеми тобто без випаювання радіоелементів. Для реалізації цих вимог розробляємо інформаційно-вимірювальний прилад на базі мікроконтролера Atmel, що забезпечить низьке енергоспоживання простоту та ефективність в роботі. Повний аналіз засобів вимірювальної техніки показав що не існує приладів вимірювання чисельних параметрів в одному корпусі. Розробка приладу приводить до уніфікації засобів вимірювання які необхідні на робочому місці шляхом поєднання вимірювача опору, ємності, індуктивності, визначника цоколювки напівпровідникових радіоелементів та виміру їх загальних характеристик. Багато серійних приладів побудовані на вимірювання ЕПО на постійному струмі. По принципу: Якщо випробовувальний конденсатор ємністю  $C$  заряджати від джерела живлення постійного струму  $I$ , напруга на його виводах буде лінійно наростати від значення  $U_R$  по закону (рисунок 1.2):

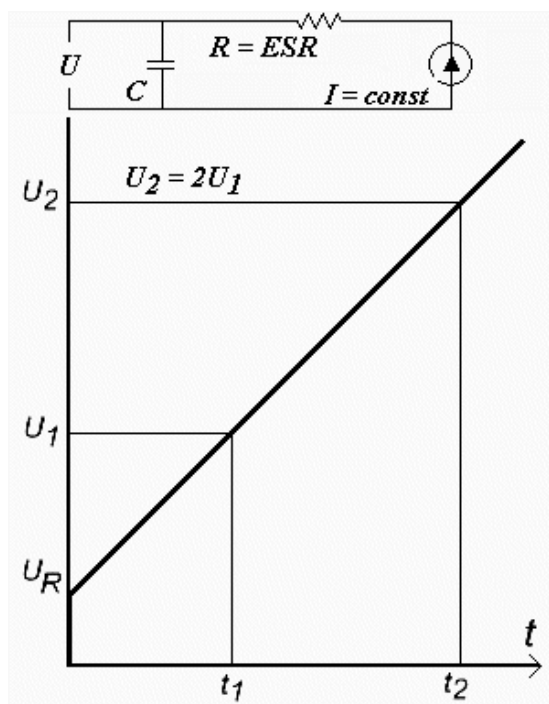


Рисунок 1.2 - Вимірювання еквівалентного послідовного опору на постійному струмі

$C dU/dt = I = const; U_R$  – падіння напруги на активному опорі конденсатора  
(ESR)

В цьому випадку ємність конденсатора буде виражена:

$$C = I dt/dU \quad (1.2)$$

Якщо порахувати час заряду для двох фіксованих значень напруги напруги  $U_1$  и  $U_2$ , і вибрати значення напруги  $U_2$  в два рази більше  $U_1$ , розрахунок ємності буде таким :

$$C = I \frac{t_2 - t_1}{U_2 - U_1} = I \frac{t_2 - t_1}{U_1} \quad (1.3)$$

Активний опір конденсатора (ESR) в даному випадку складе:

$$ESR = \frac{U_1 (t_2 - 2t_1)}{I (t_2 - t_1)} \quad (1.4)$$

Дане твердження є справедливе но не точне і абсолютно не відповідає дійсності на частотах десятки кілогерц.

В даному приладі реалізовано принцип вимірювання на частотах 40-128 КГц. Оснований на різниці виміру напруг під час заряду повністю розрядженого конденсатора та виміру напруги зарядженого конденсатора за сталий час яка є прямопропорційною внутрішньому опору конденсатора.

## 2. РОЗРОБЛЕННЯ ПРИЛАДУ ДЛЯ ВИМІРЮВАННЯ ОСНОВНИХ ПАРАМЕТРІВ ДІОДІВ, КОНДЕНСАТОРІВ ТА ТРАНЗИСТОРІВ

Вимірювально-інформаційний прилад, що розробляється, повинен задовольняти наступним технічним вимогам згідно поставленого завдання в бакалаврській роботі.

- |  |                                     |
|--|-------------------------------------|
| 1.1. Напруга живлення  | 13-6 В.                             |
| 1.2. Діапазон вимірювання ємності  | 1 пФ...20000 мкФ.                   |
| 1.3. Піддіапазони вимірювання  | Автоматичний вибір.                 |
| 1.4. Діапазон вимірювання опору  | 0,01 Ом.-20 Мом.                    |
| 1.5. Діапазон вимірювання індуктивності  | 0,01 мН-20Н.                        |
| 1.6. Час безвідмовної роботи   | $\geq 5$ років.                     |
| 1.7. Споживаний струм  | $\leq 100$ мА.                      |
| 1.8. Інформаційні параметри радіоелементів та визначення їх виводів:<br>Транзисторів NPN/PNP, N- і P- канальних MOSFET/ JGBT,<br>діодів, діодних збірок. |                                     |
| 1.9. Вимірювання еквівалентного опору конденсаторів  | 0,01 Ом-100 Ом.                     |
| 1.10. Споживана потужність   | $\leq 5$ Вт                         |
| 1.11. Габаритні розміри  | $\leq 100 \times 200 \times 50$ мм. |
| 1.12. Кліматичні вимоги:   |                                     |
| – температура навколишнього середовища   | -30...50°C                          |
| – вологість  | 70...95%                            |
| – атмосферний тиск   | 700...800 мм.рт.ст.                 |
| 1.13. Забезпечення виводу графічної інформації по найбільш поширеним радіоелементам, та швидкої модернізації приладу.                                    |                                     |
| 1.14. Забезпечення самопроверки та калібрування приладу.   |                                     |

## **2.1 Вибір і обґрунтування елементної бази приладу**

Для реалізації проекту та забезпечення виконання поставлених вимог згідно технічного завдання потрібно наступні параметри кристала:

- 1.Мінімальний струм споживання.
- 2.Напруга живлення 5В.
- 3.Підтримка бібліотеки Atmel Q Touch.
- 4.Тактова частота 8 МГц.
- 5.ФЛЕШ пам'ять 32кБ.
- 6.EEPROM ПЗУ 1кБ.
- 7.Аналоговий компаратор.
- 8.23 програмуємі лінії ввід/вивід.
9. 6 каналний 10 розрядний АЦП.
10. Джерело опорної напруги.
11. 32 восьмирозрядні регістри.
12. 6 ШИМ каналів.
13. Два 8 бітних таймери з режимом порівняння.
14. Один 16-бітний таймер з режимом порівняння та захоплення.
- 15.Сторожовий таймер.
- 16.Діапазон робочої температури -30-50 градусів цельсія.

## **2.2 Вибір мікроконтролера**

Мікроконтролер або одно кристальна мікроЕОМ виконана у вигляді мікросхеми спеціалізована мікропроцесорна система, що включає мікропроцесор, блоки пам'яті для збереження коду програм і даних, порти вводу-виводу і блоки зі спеціальними функціями (лічильники, компаратори, АЦП та інші).

В даній роботі оберемо мікроконтролер ATmega328.

Особливості: 8 - розрядний високопродуктивний AVR мікроконтролер з малим споживанням.

Прогресивна RISC архітектура: 130 високопродуктивних команд, більшість команд виконується за один тактовий цикл, 32 8 - розрядних робочих регістра загального призначення. Повністю статична робота, що наближається до 16 MIPS (при тактовій частоті 16 МГц) продуктивність. Вбудований 2 - циклової перемножувач. Незалежна пам'ять програм і даних 8 Кбайт внутрішньосистемної програмованої Flash пам'яті. Забезпечує 1000 циклів стирання / запису. Додатковий сектор завантажувальних кодів з незалежними бітами блокування. Забезпечено режим одночасного читання / запису ( Read-While - Write). Програмоване блокування, що забезпечує захист програмних засобів користувача.

Вбудована периферія: два 8 - розрядних таймера / лічильника з окремим попередніми дільником, один з режимом порівняння, один 16 - розрядний таймер / лічильник з окремим попередніми дільником і режимами захоплення і порівняння. Лічильник реального часу з окремим генератором. Три канали PWM. 8 -канальний аналого -цифровий перетворювач, 6 каналів з 10 - розрядної точністю, 2 каналу з 8 - розрядною точністю, 6 -канальний аналого -цифровий перетворювач 4 канали з 10 - розрядною точністю, 2 канали з 8 - розрядною точністю. Програмований послідовний USART. Послідовний інтерфейс SPI ( ведучий / ведений ). Програмований сторожовий таймер з окремим вбудованим генератором. Вбудований аналоговий компаратор. Скидання по подачі живлення і програмований детектор короткочасного зниження напруги живлення. Вбудований калібрований RC –генератор. Внутрішні і зовнішні джерела переривань. П'ять режимів зниженого споживання: Idle, Power- save, Power- down, Standby і зниження шумів ADC. Робоча напруга: 4,5 - 5,5 В. Робоча частота: 0 - 16 МГц.

Для візуального відображення інформації можна використати внутрішній інтерфейс USART скоригувавши його роботу на вивід інформації на послідовний порт компютера, однак це приведе до незручності в роботі в польових умовах.

Для відображення інформації потрібний графічний або символний індикатор проаналізувавши ринок на дані типи індикаторів виявлено що

графічні індикатори працюють в діапазоні температур -20+50 градусів по Цельсію що не відповідає технічному завданню а також потребують значних ресурсів контролера. Тому будемо використовувати символний індикатор серійного виготовлення. Для відображення деяких додаткових параметрів радіоелементів потрібно чотирирядковий 16 символний індикатор з підтримкою кирилиці, даний індикатор практично відсутній на ринку України, крім того цінова політика не співрозмірна з якістю виробу. Для даного приладу використаємо 16 символний двурядковий індикатор який серійно виготовляється , типу RC1602B-GHY-CSXD а для відображення слідуєчих рядків в програмному кодї реалізуємо лістінг що не надасть незручностей в роботі.

### **2.3 Розроблення електричної принципової схеми**

Електрична схема приладу яка наведена в додатку 1.1 та складається із слідуєчих вузлів:

- 1.Стабілізатора напруги.
- 2.Мікроконтролера.
- 3.Резистивних дільників.
- 4.Вузла управління живлення приладу.
- 5.Пристрою відображення інформації. .

При натисканні на кнопку кн1 протікає струм по колу еб транистора т2 та поступає на базу ключового транзистора т3 послідній відкривається та подає живлення на інтегральний стабілізатор з якого подається живлення на контролер. Одночасно ключ т2 подає сигнал на порт D контролера тим самим ініціює запуск програми. Для підтримання заданого часу роботи приладу який визначається діючим програмним забезпеченням на виводі порта формується логічна 1 яка підтримує роботу схеми при допомозі ключа зібраного на транзисорі т1 що забезпечує підтримання ключа .т3 у відкритому стані через

світловий діод типу АЛ107( який одночасно забезпечує візуальну індикацію роботи ) на час необхідний для роботи.

Стабілізатор напруги призначений для формування вихідної напруги 5В із вхідної напруги 9-12В.Конструктивно стабілізатор зібраний на ic2 типу кр142ен5 або зарубіжних аналогах.Вхідні та вихідні кола зашунтовані конденсаторами для фільтрації напруги та зменшення пульсацій струму який виникає внаслідок перехідних процесів.

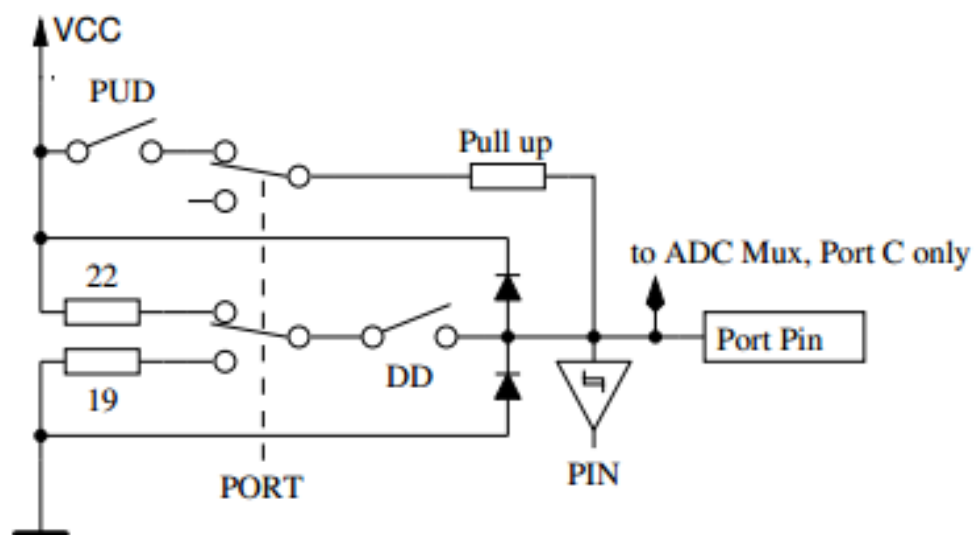
Для виводу інформації використовується індикатор типу RC1602B-GHY-CSXD .Індикатор для економії ресурсів контролера під'єднаний до порту D по чотирьох бітній шині даних D4-D7 . Для управління індикатором використані входи індикатора RS та E.Для регулювання контрастності зображення подається певний потенціал на вхід VO із дільника який реалізований на змінному резисторі.Живлення індикатора становить 5В та подається на виводи GND-WCC+ Підсвітка індикатора організована по виводах А К, струм підсвідки обмежений резистором R14.

Згідно попереднім вимогам вибрано контролер Atmega328P. Для стабільної роботи та забезпечення сталих часових інтервалів використовується кварцевий резонатор на 8МГц. Так як котролер виконує аналогові заміри вхід AVCC зашунтований конденсатором 100 нФ та об'єднаний з загальним живленням через дросель.В програмі використовується внутрішній опоний генератор напруги, тому вивід AREF також зашунтований конденсатором 100 нФ на мінусовий вивід живлення. Паралельно виводам живлення під'єднано шунтуючий конденсатор 100нФ для подавлення фмппульсних викидів. Для під'єднання індикатора використано частину порта D0-D5.

Порт «С» використовується для заміру напруги на утвореній схемі, так і для створення кіл схеми вимірювання. Порт «В» використовується тільки для створення схеми вимірювання.

При підключенні тестового двохполюсника з метою визначення використаних виводів TP1,TP2,TP3 програмно порівнюються напруги на виводах контролера PC0,PC1,PC2, визначаючи задіяні виводи. Почергово перебираються комбінації конфігурації виводів приєднаних до порта «С» і

«В» контролера . Порт «В» підключає тестові резистори до Vcc або GND. Виводи порта «С» мають можливість підключення до Vcc, GND або високоомний стан, вивід може бути програмно під'єднаний через вбудований в мікроконтролер мультиплексер (ADMUX) до входу АЦП (АналогоЦифровогоПеретворювача).



2.1 – Спрощена схема виводу порта

Для конфігурування виводів контролера необхідно присвоїти певні значення портам. При запуску програми кожному виводу контролера присвоюється умовна назва, для зручності написання та читання програмного коду.

```
.def      Tr1  =PC0; //присвоєння назви портів під'єднаних до вимірних
клем.

.def      Tr2  = PC1

.def      Tr3  = PC2

.defi     RL1  =PB0; // присвоєння назви портів допоміжних портів
приєднаних до резисторів

.def      RL2  =PB2; //RLx = 680Ом.

.def      RL3  =PB4; //RHx= 470kОм.
```

```
.def      RH1 =PB1
.def      RH2 =PB3
.def      RH3 =PB5
```

Виводи портів налаштовуються на вивід або на ввід сигналу. Кожен вивід портів має підтягуючий резистор, підключений до плюса живлення, для створення певного потенціалу на виводі. Підтягуючі резистори також можуть бути програмно вимкнені або увімкнені. В даному контролері тільки порт «С» може бути програмно приєднаний через мультиплексор «MUX» до внутрішнього АЦП.

```
// Порт В .0 - .5 встановлені на вивід
// підтягуючі резистори вимкнені
// Func7=In Func6=In Func5=Out Func4=Out Func3=Out Func2=Out Func1=Out
Func0=Out
// State7=T State6=T State5=0 State4=0 State3=0 State2=0 State1=0 State0=0
```

```
PORTB=0x00;
DDRB=0x3F;
```

Порт«В» використовується для для створення схеми з каліброваних резисторів і тестовими входами з підєднаним елементом для тестування. Може приймати два стійких значення: притягнутий до плюса живлення, або до мінуса.

```
// Порт С .0 - .2 встановлені на вхід
// підтягуючі резистори вимкнені
// Func6=In Func5=In Func4=In Func3=In Func2=In Func1=In Func0=In // виводи
на вхід
// State6=T State5=T State4=T State3=T State2=T State1=T State0=T //
підтяжка вимкнена
```

```
PORTC=0x00;
DDRC=0x00;
```

Порт«С» використовується для для створення схеми з каліброваних резисторів і тестовими входами з підєднаним елементом для тестування.

Може приймати три стійких значення: притягнутий до плюса живлення, прижаний до мінуса, або в підімкнутий через мультиплексор «MUX» входу АЦП. В режимі виміру АЦП внутрішні ключі порта вимкнені, і вивід не під'єднаний до шин живлення.

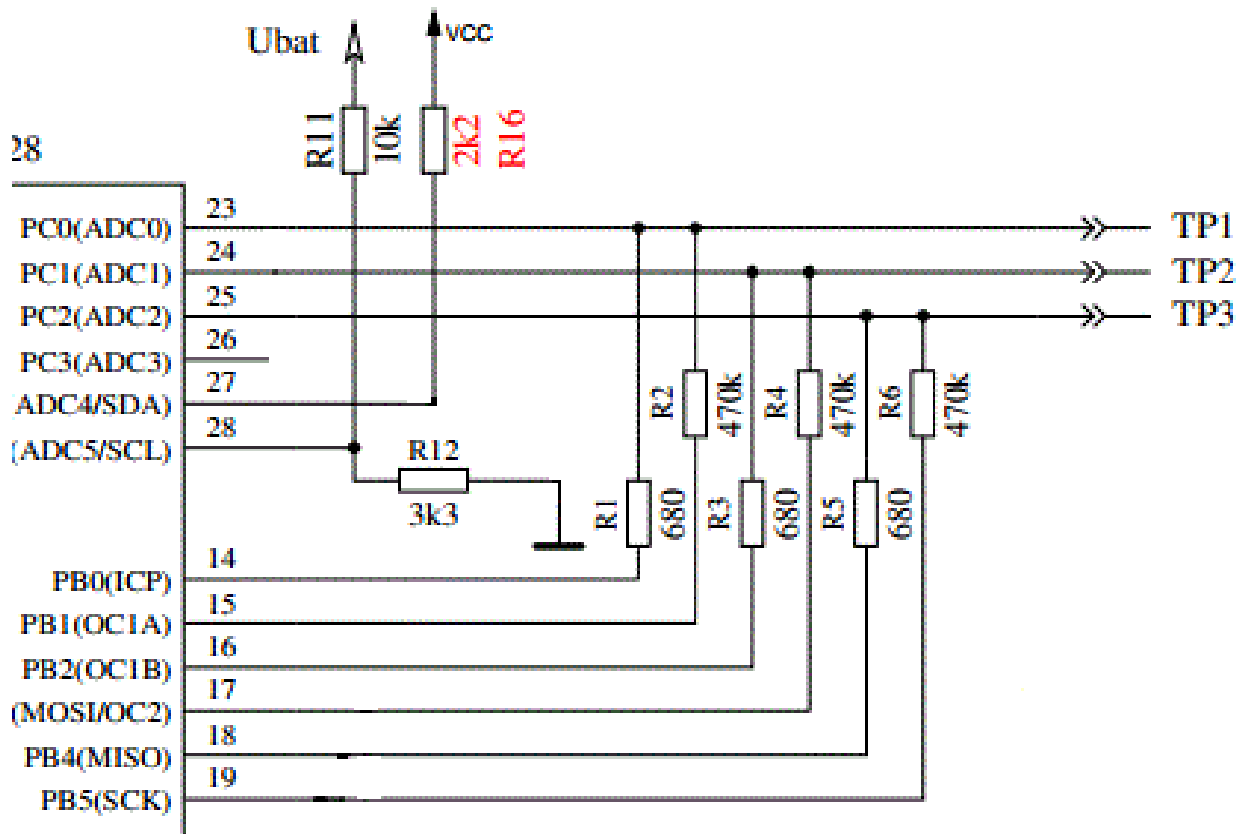


Рисунок 2.2 – Під'єднання вхідних клем до портів контролера.

Порт «D» використовується для підключення дисплея і конфігурується програмно. В початковому стані налаштовані на вивід.

```
// Port D initialization
```

```
// Func7=In Func6=In Func5=In Func4=In Func3=In Func2=In Func1=In Func0=In
```

```
// State7=T State6=T State5=T State4=T State3=T State2=T State1=T State0=T
```

```
PORTD=0x00;
```

```
DDRD=0x00;
```

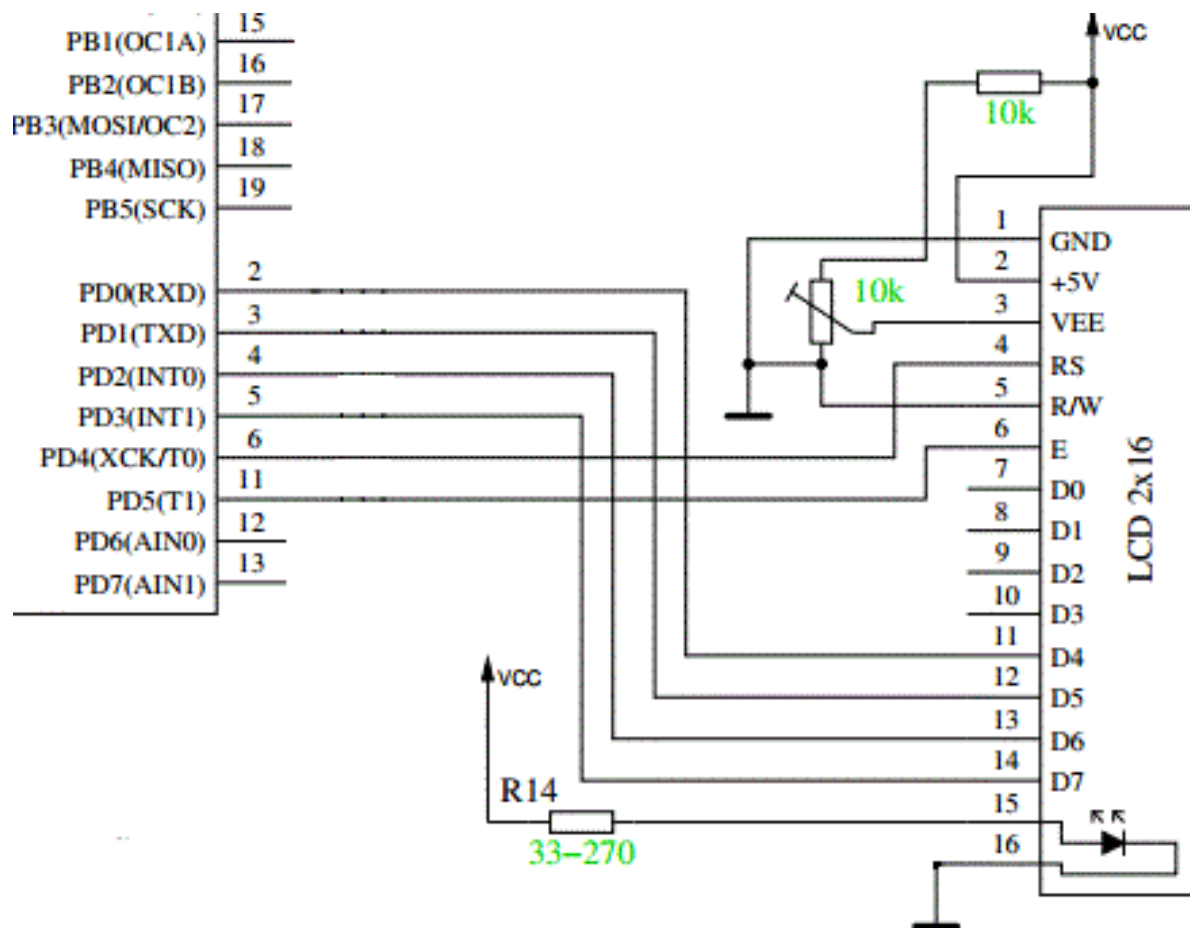


Рисунок 2.3 - Підключення дисплея

Схематично всі варіанти конфігурації виводів портів контролера можна звести до приведеної умовної схеми.

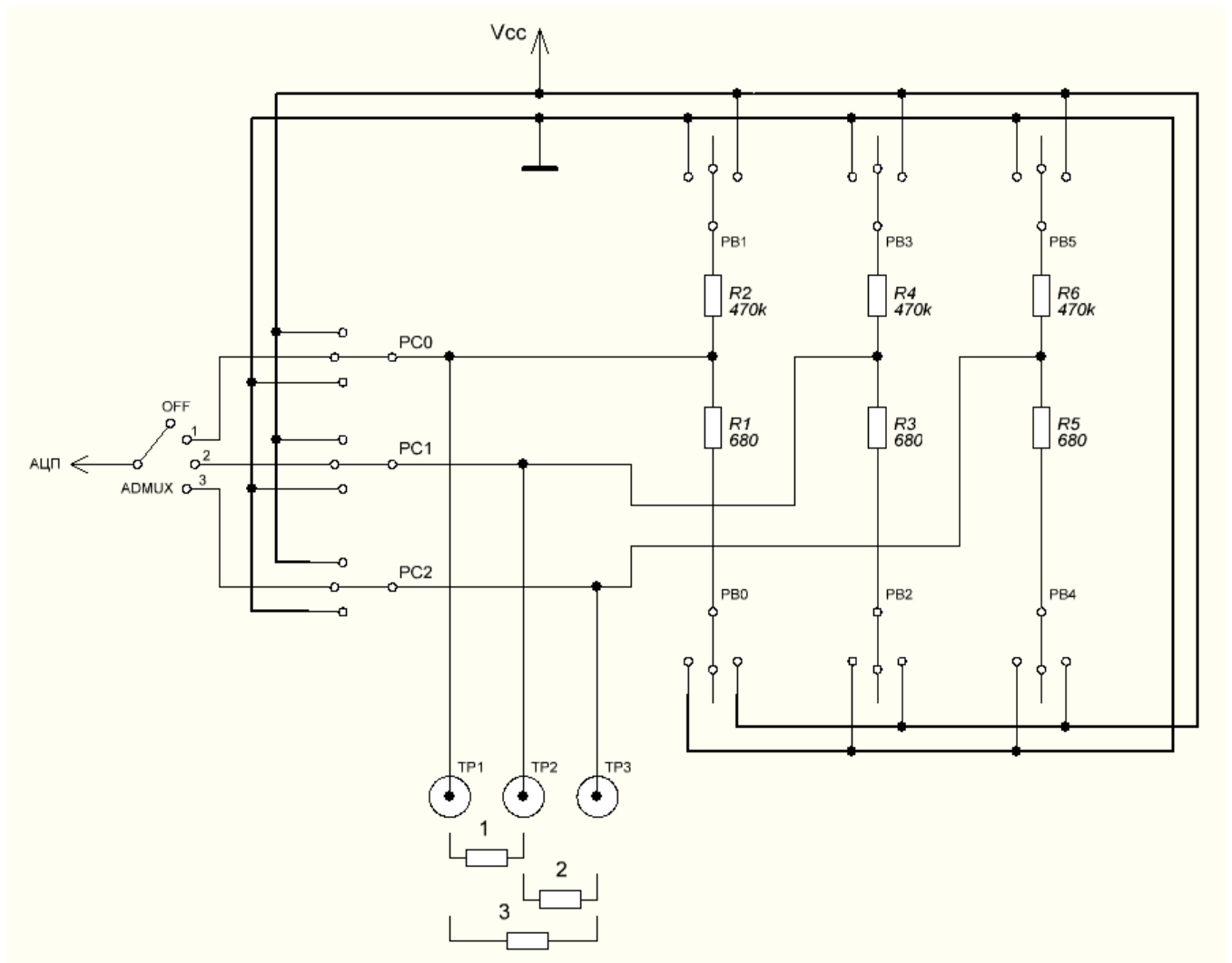


Рисунок 2.4 - Конфігурації виводів портів контролера

На даній схемі не відображені ключі підтягуючих резисторів, так як вони закриті і не використовуються.

В контролері вбудований 10-и розрядний аналого-цифровий перетворювач. Швидкодія його до 15тис.вибірок/с. , похибка +/- 2 МЗР, інтегральна нелінійність +/- 0.5 МЗП.

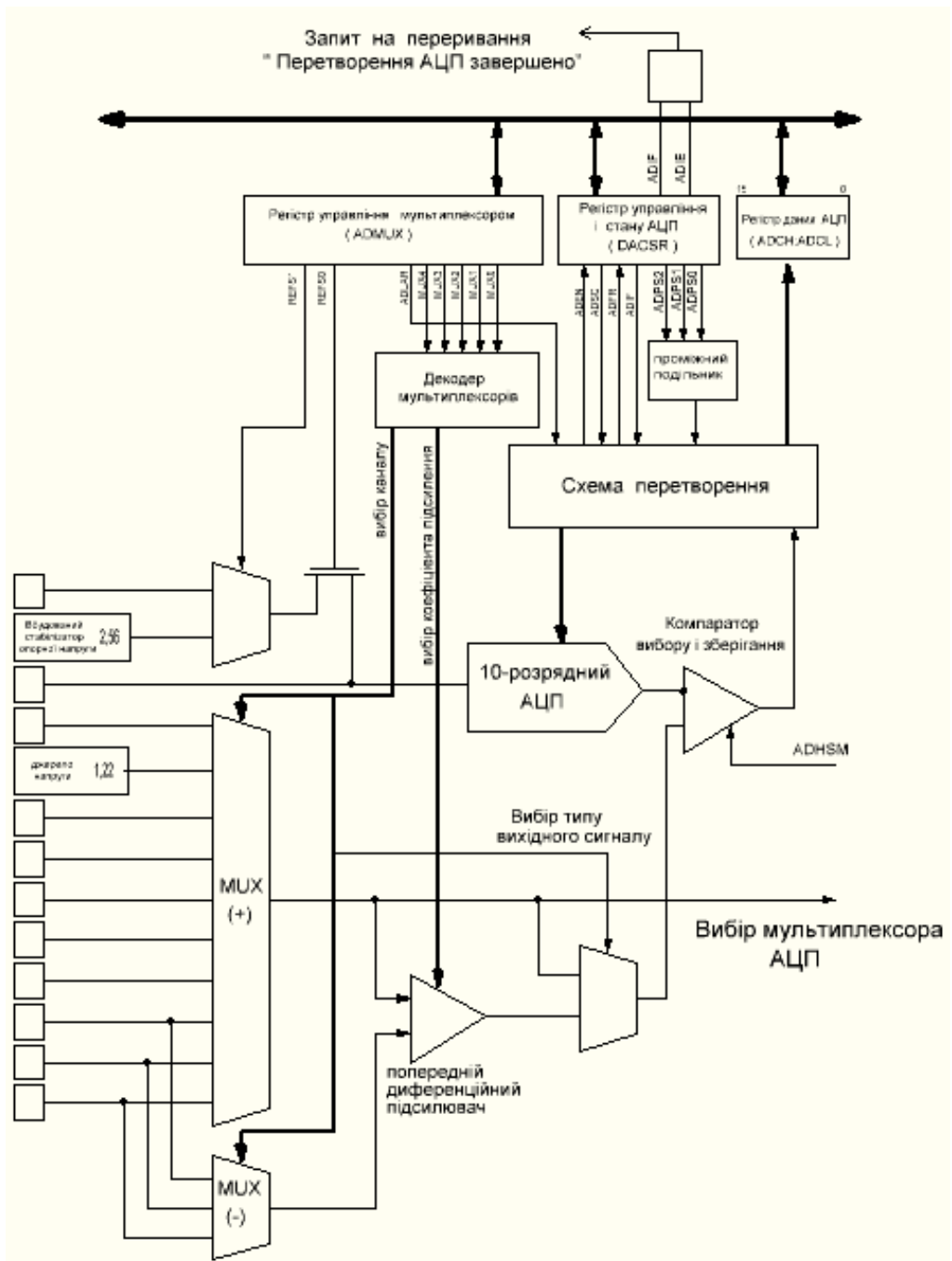


Рисунок 2.5 - Управління вхідним мультимплексором

Через вхідний мультимплексор «MUX» до входу АЦП можна підключити 8 несиметричних входів і два диференціальні канали. Управління вхідним мультимплексором здійснюється за допомогою розрядів «MUX4,MUX3, MUX2,MUX1,MUX0» реєстра «ADMUX». В якості опорної напруги для АЦП може використовуватись напруга живлення контролера, зовнішній вхід «AREF», або внутрішнє джерело опорної напруги. Вибір джерела опорної напруги здійснюється за допомогою розрядів «REFS1,REFS0». В даному випадку опорна напруга формується

внутрішнім джерелом опорної напруги. Розряди REFS0,REFS1 встановлені в лог 1 . Для зменшення імпульсних викидів вивід AREF контролера шунтується конденсатором на мінус живлення.

Таблиця 2.1 - Структура регістра «ADMUX»:

7	6	5	4	3	2	1	0
REFS1	REFS0	ADLAR	MUX4	MUX3	MUX2	MUX1	MUX0

Для формування тактової частоти АЦП, використовується окремий подільник. Коефіцієнт ділення і відповідно тривалість перетворення визначається станом розрядів «ADPS0,ADPS1 ADPS2» регістра «ADCSR». Найбільша точність перетворення досягається при тактовій частоті в межах 50 – 200 кГц. Коефіцієнт ділення частоти кварцового генератора контролера (8МГц.) вибрано:

$$ADPS2...ADPS0 = *1*1*1=128.$$

$$8000/128=62,5\text{кГц.}$$

АЦП перетворювач налаштований на одиночний запуск, тобто процес перетворення запускається по програмному запиту. Режимом роботи керує розряд «ADATE». При значенні \*0 АЦП працює в одиночному режимі, при \*1, в автоматичному. Для економії енергії АЦП при необхідності може бути вимкнений. Для ввімкнення необхідно в розряд «ADEN» записати \*1, для вимкнення записати \*0. Розряд «ADIE» дозволяє переривання по закінченні перетворення АЦП.

Таблиця 2.2 - Структура регістра «ADCSR»:

7	6	5	4	3	2	1	0
ADEN	ADSC	ADATE	ADIF	ADIE	ADPS2	ADPS1	ADPS0

В даній програмі вимірювання проводиться 22 рази. По завершенні кожного перетворення програма виконує додавання результату перетворення до попереднього. Циклічність організована прератором «for».

Після настройки АЦП на розряд «ADSC» подається \*1 для запуску перетворення.

В даній програмі функція заміру та перетворення напруги на тестовому вході викликається програмно. Спочатку проводиться конфігурація виводів портів контролера : створюється певна схема з'єднань каліброваного резистора і входних клем приладу, задається адрес вивода порта «С» для підключення через мультиплексор «ADMUX» до АЦП . Встановлюється дозвіл на виконання підпрограми зчитування і збереження значення в попередньо визначену змінну **temp** по завершенні перетворення **ADIF = 1**, встановлюється дозвіл на використання перетворювача **ADEN = 1**, і подається команда на запуск власне самого перетворення **ADSC = 1**.

Так як для збільшення достовірності перетворення в тілі програми створений цикл оператором **for** що забезпечує проведення 22 замірів. Кожне отримане значення сумується в змінній **temp**. Змінною оператора циклу об'явлена «С». в початковому стані їй присвоєно значення «0». Максимальне значення тприсвоєно 22. В процесі виконання вона збільшується на одиницю. При досягненні вказаного максимального значення завершується дія виконання циклу і продовжується виконання програми. Для подальшого використання отриманого результату його треба перевести в значення з яким краще проводити подальші розрахунки.

В результаті виконання циклу замірі отримаємо суму 22 замірів. Щоб перевести отримане значення треба його поділити на 2 і помножити на 9.

**adc data = (temp/2)\*9);** В результаті отримуємо значення вимірної напруги на резистивному подільнику.

*Настройка, запуск, вимірювання АЦП*

// ADC настройка

// опорна напруга: Int., cap. on AREF (використовується внутрішній генератор )

// вимкнення тригерного режиму: Free Running

// вимкнення буферу цифрового входу. ADC0: Off, ADC1: Off, ADC2: Off,

ADC3: Off // ADC4: Off, ADC5: Off

**DIDR0=0x3F;**

```

ADMUX=ADC_VREF_TYPE & 0xff;
ADCSRA=0xAB;
ADCSRB&=0xF8;

```

*Проведення одного циклу заміру:*

```

interrupt [ADC_INT] void adc_isr(void) // ініціалізація АЦП
{
unsigned int temp // зберігає суму замірів
unsigned int ads data // змінна для зберігання даних
for(c=0;c<22;c++) // цикл 22 заміри
{
Interrupt [ADC_INT] void adc_isr (void)
{
ADCSR = 0x07 // встановлення коефіцієнта ділення
// системної частоти на 128
ADIE = 1 // переривання по завершення перетворення
ADEN = 1 // дозвіл на використання АЦП
ADSC = 1 // старт
}
temp = ADCW; // зберігає одиночне значення
}
adc data = (temp/2)*9; // виміряне значення в мВ.
}

```

Отримані дані АЦП переводяться для зручності подальшого використання в значення напруги в мВ.

$$\underline{1023 \cdot 22 \cdot 2 / 9 = 5001 \text{ мВ.}}$$

Стандартна роздільна здатність становить 4,9 мВ.

При відомій нарузі живлення, заміряній нарузі на резистивному подільнику і відомому опорі каліброваного резистора, можна легко визначити опір другого резистора в подільнику. В даному випадку тестового елемента, під'єданого до вхідних клем.

Так як подільник створений з низькоомних елементів, на результат замірів впливають внутрішні ключові елементи портів, які мають певний опір. Значення перехідних опорів ключів визначається при калібруванні приладу. Під час калібровки необхідно закортити вхідні клеми «TP1» і «TP3». По схемі з використанням резистора 680 Ом до АЦП через мультиплексор ADCMUX програмно під'єднується порт мікроконтролера «PC0» і вимірюється значення на подільнику утвореному каліброваним резистором 680 Ом та перехідним опором ключа порта «PC0», що притягує його до мінуса живлення. Результат записується у відповідну комірку енергонезалежної пам'яті контролера.

#### **void Kalibration (void)**

```
{  
  int digits [6]; // масив із 6 елементів int для зберігання вимірних значень  
  перехідних опорів ключів порта контролера  
  PORTB = 0x10; // запис «1» в вивід порта «B4»  
  DDRB = 0xFF; // встановлення порта B на вивід  
  ADMUX = 0 // підключення «PC0» до АЦП  
  Read ADC // виклик функції АЦП  
  digits [0] = adc data; // збереження результату в масиві  
}
```

Аналогічно проводяться заміри на остальных внутрішніх ключах. Дані записані в енергонезалежну пам'ять використовуються як константи поправки при переводі отриманих значень для виводу на дисплей.

Дані, отримані під час калібрування, використовуються тільки при проведенні замірів по схемі з використання низькоомних калібровочних резисторів. При зміні конфігурації виводів портів контролера на схему з використанням високоомних каліброваних резисторів, отримані калібровочні значення не використовуватимуться тому що в колі схеми протікають незначні струми і падіння напруги на перехідних ключах мізерне.

Метод вимірювання заснований на вимірюванні напруги на подільнику створеному з каліброваного резистора і тестованого елемента. При протіканні в колі відомої напруги, і відомому опорі одного з резисторів можна визначити опір тестованого елемента.

Для виміру опору резисторів використовуються любих два з трьох вимірювальних входів PC0...PC2. За допомогою допоміжних виводів порта «В» складається схема у вигляді подільника напруги, що утворюється з резистора який вимірюється та каліброваного резистора. На одному з вимірювальних входів створюється середня точка з'єднання.

Вимірювання проводиться вбудованим аналого-цифровим перетворювачем (АЦП). По завершенні конфігурації виводів контролера для створення схеми заміру, вхід АЦП підключається до певного виводу порта «С» і проводить перетворення присутнього потенціалу відносно опорної напруги **AREFF**, яка формується внутрішнім генератором опорної напруги, та зберігає його в робочому регістрі. Для достовірності замірів перетворення АЦП проводиться декілька разів. АЦП присутнє деяке значення дискретності при перетворенні аналогового сигналу в цифрове значення. Тому після серії замірів значення робочого регістра порівнюється з встановленими пороговими значеннями, що зберігаються як константи в енергонезалежній пам'яті, і при необхідності змінює калібровані резистори, використані в схемі виміру. При тестуванні резистора з низьким опором використовуються калібровані резистори опором 680 Ом, а для високоомного використовуються калібрування резистори 470кОм.

Результат заміру АЦП зберігається тимчасовому регістрі, значення якого накопичується в регістрі збереження проміжних даних. Для

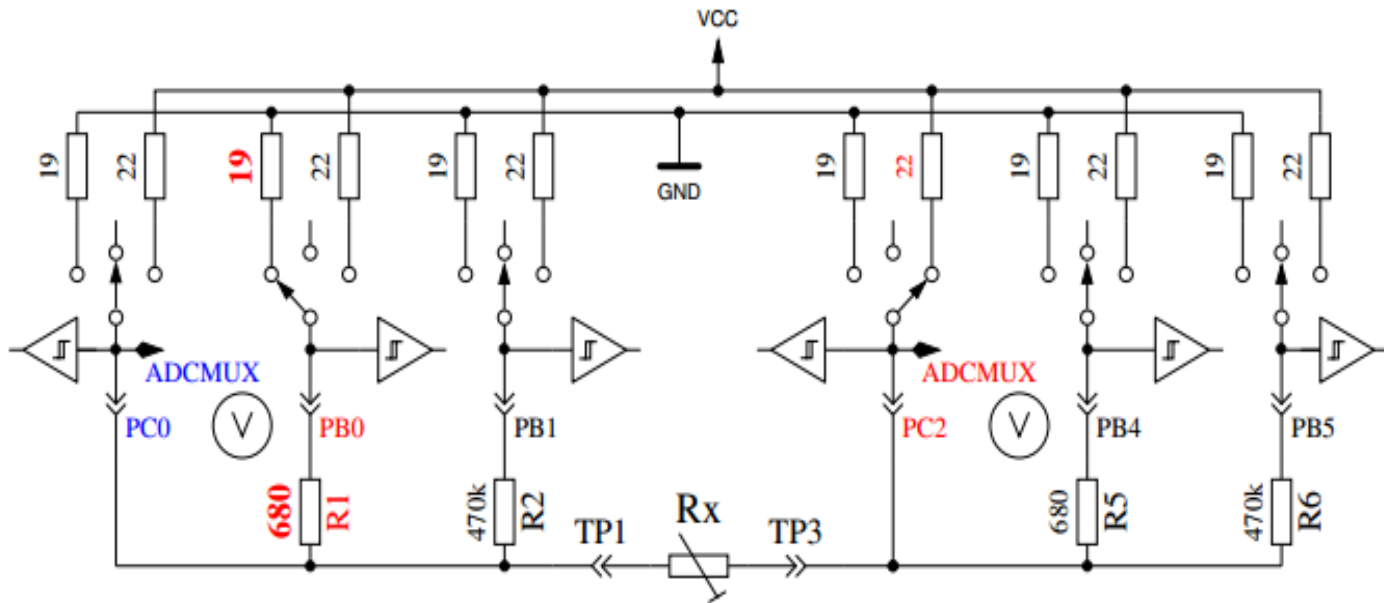


Рисунок 2.6 - Тестування резистора з низьким опором

збільшення достовірності вимірювання кількість замірів здійснюється декілька разів. Отримане значення для зручності в подальшому використанні переводиться в одиницю виміру напруги мВ.

При під'єднанні тестового елемента з низьким опором по схемі 2.7, з

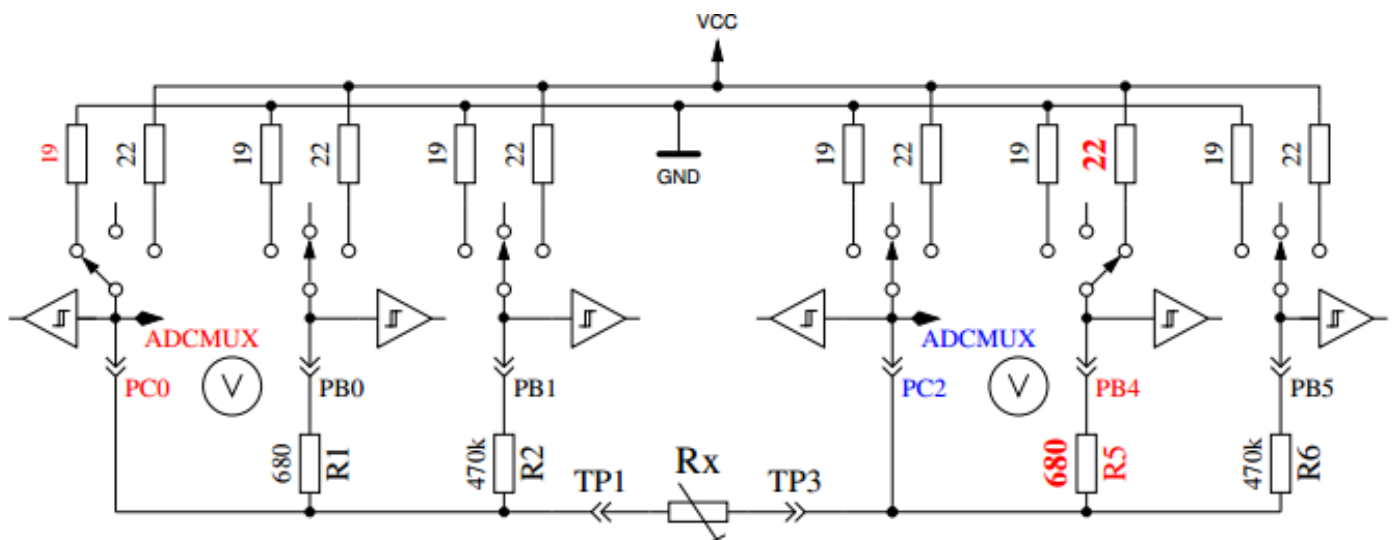


Рисунок 2.7 – Схема з використанням каліброваного резистора

використанням каліброваного резистора 680 Ом. з лівої сторони по схемі, розташований випробувальний вивід 1, з правої сторони – випробувальний

вивід 3. Вивід 3 (права сторона) з'єднаний з VCC, вивід 1 (ліва сторона) з'єднаний з GND. Напрямок струму, що протікає через резистор  $R_x$  є однаковим. Значення портів, переключених на вихід, показані червоним кольором, значення портів, які використовуються для входу, відображені синім кольором, бездіяльні порти - чорні. В обох розглянутих типах вимірів струм повинен бути однаковим, тому що суммарна величина резисторів між VCC і GND ідентична. Напрямок на утвореному подільнику буде наближатись до мінімуму із зменшенням опору тестового елемента, а при збільшенні опору тестового елемента до максимуму. Після виконання замірів результат зберігається в регістрі R1, для подальшої обробки. Програма змінює конфігурацію виводів портів контролера по схемі 2.7. В даній схемі напруга на подільнику буде наближатись до максимуму, із зменшенням опору тестового елемента, а при збільшенні опору тестового елемента до мінімуму. Після виконання замірів результат зберігається в регістрі R2, для подальшої обробки. Отримані значення з регістрів R1 та R2 порівнюються з пороговими значеннями.

При збільшенні опору тестового елемента значення в регістрах R1 та R2 виходять за встановлені межі, і програма змінює конфігурацію виводів портів контролера згідно з схемами 2.8 та 2.9. В даному варіанті вже використовується калібрований резистор опором 470 кОм. Регістри R1 та R2 очищуються і в них заносяться аналогічні дані замірів, але з використанням каліброваного резистора 470 кОм. В даному варіанті калібрований резистор має досить високий опір і тому значення перехідних опорів внутрішніх ключів не враховуються.

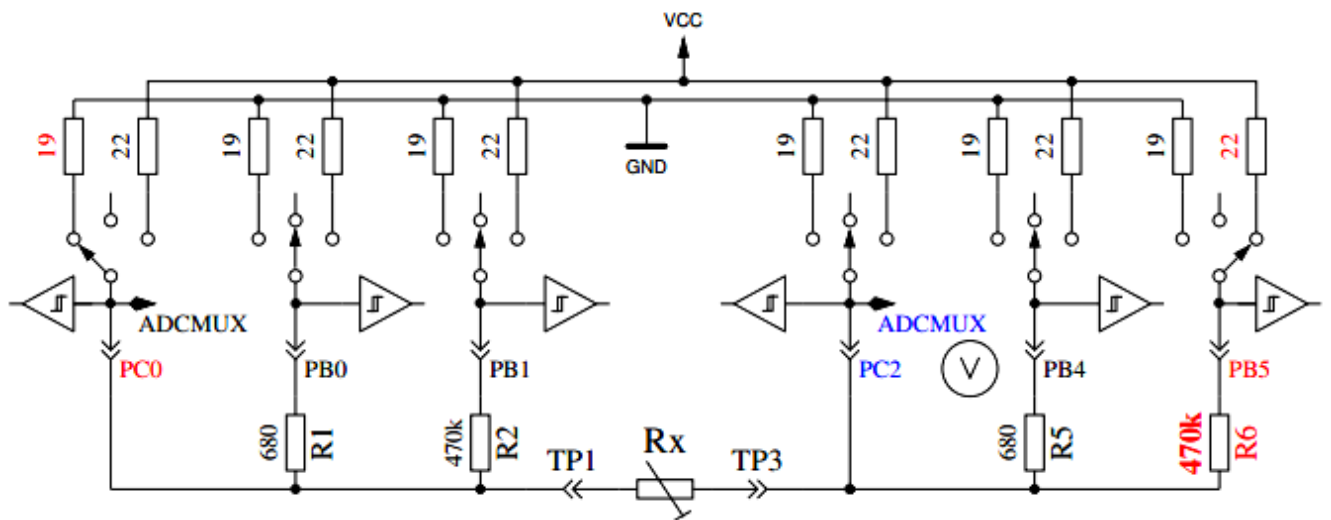


Рисунок 2.8 - . Конфігурація виводів портів контролера

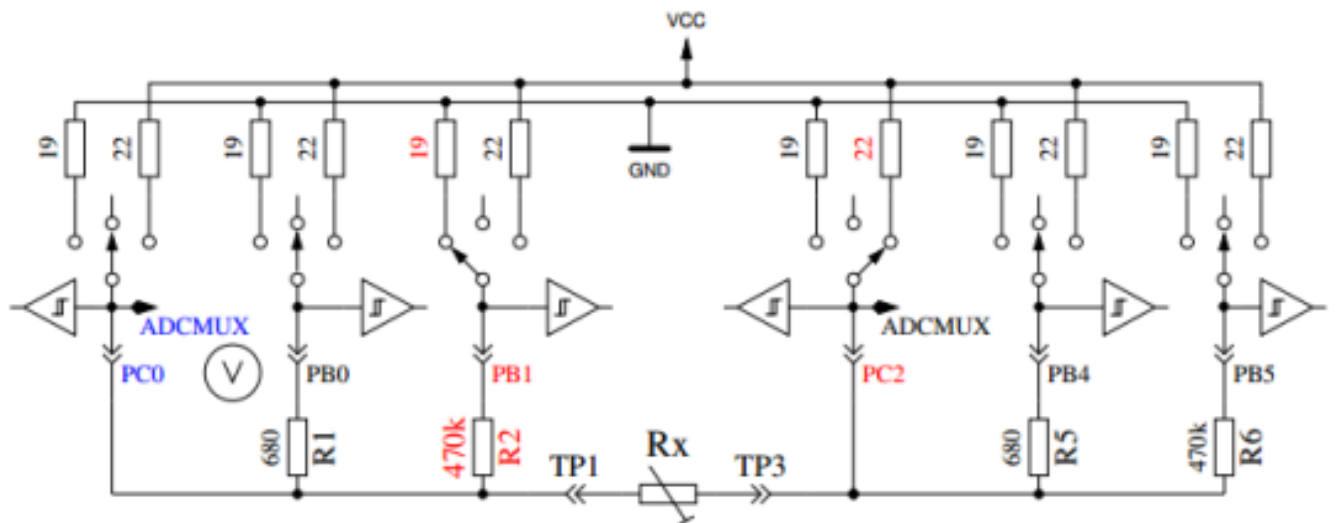


Рисунок 2.9 - Конфігурація виводів портів контролера

Аналогічні заміри проводяться з зміною полярності підключення тестового елемента і результат записується в регістри R3 та R4.

При відомому опорі каліброваного резистора, відомій напрузі живлення, і значень з регістрів R1 і R2 та регістрів R3 і R4 визначається опір тестового елемента при прямій і зворотній полярності.

Якщо невідповідність між отриманими результатами незначна тестовий елемент класифікується як резистор. При значній розбіжності тестований елемент класифікується як напівпровідник.

Підпрограма яка аналізує напівпровідники працює по тому самому принципі, проводить заміри падіння напруги на каліброваних резисторах при певних схемах включення тестового елемента. На відмінок від програми вимірювання резисторів, тут задіяний таймер що визначає час наявності потенціалу на протязі певного часу. Якщо показники не міняються, програма продовжує визначення тестового елемента як напівпровідник. Якщо потенціал змінюється, програма класифікує тестовий елемент як конденсатор, і переходить на виконання підпрограми аналізу конденсаторів.

## **2.4 Розроблення програмного забезпечення приладу**

Для роботи по створенню редагуванню симуляції, компіляції та прошивки необхідно встановити та налагодити спеціалізоване програмне забезпечення .

Для написання програмного забезпечення існує велика кількість середовищ програмування: платформа Vin AVR, Code Vision AVR C Compiler, модифікації Atmel Studio.

Даний проект створено в Atmel Studio v6.2 для написання редагування та компіляції програмного коду[10].

**CodeWizardAVR V1.25.8 Standard**

**Project : Радіотестер**

**Version : 1,1**

**Date : 31.05.2017**

**Author : Ігор**

**Company : REM**

**Comments: пробна версія**

**Chip type : ATmega328P**

**Program type : Application**  
**Clock frequency : 8,000000 MHz**  
**Memory model : Small**  
**External SRAM size : 0**  
**Data Stack size : 512**

В даній програмі використано підпрограму налаштувань контролера **#include <mega328p.h>**, підпрограму призначену для роботи з дисплеєм **#include <lcd.h>**, підпрограма для створення часових затримок **#include <delay.h>**, і підпрограма настройки опорної напруги для АЦП перетворення. **#define ADC\_VREF\_TYPE 0xC0**.

Бібліотечні програми можуть бути написані на різних мовах в даному випадку підпрограма для роботи дисплея написана на АСЕМБЛЕРІ, тому для приєднання програмного коду до тіла програми виконується команда:

```
// Alphanumeric LCD Module functions  
#asm  
.equ __lcd_port=0x0B ;PORTD  
#endasm
```

*Приєднання підпрограм*

```
#include <mega328p.h>  
// Alphanumeric LCD Module functions  
#asm  
.equ __lcd_port=0x0B ;PORTD  
#endasm  
#include <lcd.h> // підпрограма дисплея  
#include <delay.h> // підпрограма затримки  
#define ADC_VREF_TYPE 0xC0 // встановлення опорної напруги.
```

```
//оптимізація системного генератора: 1
```

```
#pragma optimize-  
CLKPR=0x80;  
CLKPR=0x00;  
#ifdef _OPTIMIZE_SIZE_  
#pragma optimize+  
#endif
```

## 2.5 Технологія виготовлення приладу

Прилад спроектований із мінімальною об'язкою контролера Atmega328 та зібраний на друкованій платі із фольгованого склотекстоліту.

Для розробки друкованої плати використовувалось програмне забезпечення .

Дана програма формує файл для виготовлення друкованої плати у форматі ,який можна використати на промисловому обладнанні з ЧПУ для серійного виробництва. Для дільників R1-R6 необхідно використовувати безіндукційні високоточні резистори які пройшли процес старіння ,так як вони являються вимірювальними дільниками і від стабільності послідніх залежить точність вимірів . Збираємо прилад та вмикаємо його шляхом подачі живлення та натискаємо кнопку кн1.

Після вмикання приладу при правильній збірці на екрані побачимо повідомлення про величину первинної напруги живлення V ВАТ.  $U=12$  та «Провести Калібрування .» яке зникне на протязі 1хв. Для налагодження приладу цього часу не достатньо тому шунтуємо ключ на транзисторі т.

При допомозі вольтметра заміряємо напругу на виході стабілізатора IC2 яке повинно бути 5.00-5.01 вольта . При допомозі частотоміра ЧЗ-54 чи аналогічного заміряємо частоту кварцевого генератора та шляхом підбору конденсатора с встановлюємо частоту рівну 8 мегагерц. На цьому налагодження приладу закінчене. Знімаємо шунтуючий провідник ключа Т . Функція калібрування виводиться тільки при первинному ввімкненні приладу.В дальнішому при необхідності її можна визвати через меню приладу.

### **3. МЕТРОЛОГІЧНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ РОЗРОБЛЕНОГО ПРИЛАДУ**

Після збірки приладу та його налагодження, для забезпечення нормованих метрологічних характеристик проводиться первинне калібрування приладу.

#### **3.1 Розроблення методики калібрування**

Програмне забезпечення приладу побудовано так що забезпечує автоматичну калібровку приладу та вносить поправки по опору, індуктивності, ємності вхідних щупів а також установки 0 вимірювальних каналів шляхом внесення поправочних коефіцієнтів в масив глобальних констант EEPROM. Для калібрування приладу проводимо закорочування усіх трьох вимірних гнізд між собою і натиснути кнопку «Тест.» .Програма визначає нульвий опір між вимірювальними клемми і розпочинає функцію самопровірки при повторному натисканні на кнопку «Тест.» на протязі 2 сек. Це обумовлене тим щоб прилад не перейшов в режим самопровірки і калібрування при підєднанні пошкодженого радіоелемента. Тест проводить заміри опору між усіма вимірювальними клемми (T1:T3,T2:T3,T1:T2) цей тест враховує опір щупів і перехідний опір зєднань якщо результат замірів менше 0,1 Ом. Калібрувальне значення буде занесено як поправочний коефіцієнт в пам'ять контролера. Під час дальнішої роботи йде самопровірка приладу при збільшенні значення опору більше 0,1Ом.,це може бути результатом зміни вимірювальних щупів , прилад виводить повідомлення «Відкалібрувати». Калібрування проводить заміри опорної напруги ,проводить заміри опорів зовнішніх та внутрішніх резистивних дільників вимірює внутрішній опір порта вибираючи поправочні коефіцієнти і заносить калібровочні дані в пам'ять глобальних налаштувань вимірювача. Після

проходження даних замірів прилад інформує про зняття закортки шляхом виведення надпису «Ізоляція» та переходить дослідуючих кроків які проходять в автоматичному режимі. В дальнішому проходить калібрровка напруги зміщення компаратора і програма калібрування просить підєднати до клем Т1-Т3 конденсатор більше 100 нф. Приєднуємо попередньо придатний конденсатор і чекаємо закінчення тесту програма,вибере величину корекції і занесе в масив глобальних налаштувань. При успішному проходженні процесу калібрування буде виведено повідомлення «Калібрування закінчено.» При неможливості проходження тесту що визвано значними поправочними коефіцієнтами програма калібрування відобразить повторно надпис «Відкалібруйте».

При не можливості відкалібрувати прилад стає непридатним до експлуатації. Для полегшення ремонту приладу заходимо в інженрне меню приладу: «9.Дані програмного забезпечення та калібрування». В якому знаходяться всі дані констант глобального масиву пам'яті та та параметрів вимірювальних елементів у закодовному вигляді по суттєвому відхиленню яких можна судити про причину неполадок. Наприклад ми побачимо +RH-12-13-23 це значення відповідає за константу високоомних зовнішніх дільників .

## **3.2 Розроблення методики первинної повірки**

### **3.2.1 Умови повірки.**

Повірка приладу проводиться в слідуючих умовах:

-температура навколишнього середовища°C	18-22
-відносна вологість повітря %	30-80
-атмосферний тиск кПа	84-106

### **3.2.2 Засоби повірки.**

-Котушка електричного опору вимірювальна р310 Клас точності 0.01.  
Номінальне значення опору 0,01Ом.

- Котушка електричного опору вимірювальна р321 Клас точності 0.01.  
Номинальне значення опору 1.0 Ом.

- Котушка електричного опору вимірювальна р321 Клас точності 0.01.  
Номинальне значення опору 10 Ом.

- Котушка електричного опору вимірювальна р331 Клас точності 0.01.  
Номинальне значення опору 100Ом.

-Міра електричного опору многозначна Р3026 Клас точності 0.005-0,02  
номинальне значення відтворюваних опорів від 0-111111ОМ.

-Міра електричної ємності р597 Клас точності 0.2 Номинальне значення  
10пФ.

. –Міра електричної ємності р597 Клас точності 0.2 Номинальне значення  
100 пФ

-Міра електричної ємності р597 Клас точності 0.2 Номинальне значення  
1000 пФ

-Міра електричної ємності р597 Клас точності 0.2 Номинальне значення  
10 мФ.

-Міра індуктивності многозначна LQ-2408-3 Клас точності 0,2 номінальне  
значення відтворюваних величин індуктивностей 1Гн-10000Гн.

-Психрометр.

-Барометр.

Збираємо однозначні міри опору однозначні міри опору р321 в  
трьохпорвідну схему шляхом їх послідовного приєднання із виводом середньої  
точки, для зручності середню точку підєднуємо до клеми Т2 вимірювача інші  
виводи до клем Т1-Т3 зчитуємо значення на екрані приладу та заносимо в  
таблицю 10 замірів із котушками опору 0,01;1,0;10;100 Ом із одержаних даних  
вираховуємо похибку вимірів..Таке підключення дає можливість повірити  
відразу три вимірювальних канали приладу. Для перевірки верхнього діапазону  
вимірів застосовуємо міру опору р3026 встановивши значення 100000 оМ.

Для перевірки вимірювача ємності беремо однозначні міри р597 і по  
точках 10пф;100пф;1000пф. 10мФ. Проводимо по чергово заміри між клемми  
1-3 .

Одотипно проводимо заміри індуктивності при допомозі міри індуктивності шляхом порівняння показів повіряемого приладу та дійсного значення величини .Всі інші параметри приладу є інформаційними і програмне забезпечення приладу забезпечує їхню коректну рботу.

Для перевірки роботи вимірювача ESR беремо безіндукційну котушку 0,01Ом. І послідовно вмикаємо взірцеву ємність прилад повинен показати значення яке рівне опору котушки та величину відображеної ємності із графічним відображенням .

### **3.2.3 Розроблення методика проведення вимірювань**

Для проведення вимірювань включаємо живлення приладу підєднуємо випробувальні щупи до тестуемого елемента та натискаємо кнопку тест прилад проводить самопровірку тестує живлення і автоматично проводить визначення параметрів радіоеlementу із визначенням типу елемента та його метрологічних параметрів, з наступним виведенням на екран.На екран виводяться параметри радіоеlementу та його графічний символ,а також нумерація вимірювальних клем куди він підєднаний. При появі у правому нижньому кутку символа + це означає що прилад отримав додаткові заміри параметрів радіоеlementa і не може відобразити їх по причині відсутності знакомісця ,для відображення послідніх слід додатково

натиснути кнопку тест. При відображенні на дисплеї приладу інформації «Відсутня або пошкоджена деталь» це означає що прилад не зміг визначити параметри даного радіоеlementу по причині його непридатності, або відсутності контакту між вимірювальними клемами та тестуемою деталлю.

При вимірі параметрів намоточних резисторів прилад графічно відобразить опір із послідовно підєднаною індуктивністю та проведе заміри опору та ідуктивності. При вимірі параметрів напівпровідникових елементів прилад показує їхні параметри та при тестуванні діода показує символ діода та номера вимірювальних клем до яких підєднаний анод,катод. При тестуванні транзисторів їхнє графічне представлення не відображається а відображається

текстова інформація . Наприклад візьмемо транзистор кт904 і протестуємо його і зчитуємо слідуєчу інформацію NPN 321=ЕВК та інші параметри які показують струм бази та коефіцієнт передачі . NPN означає структуру транзистора, а буквенно- цифрове позначення 321=ЕВК означає що клемма 3 вимірювача підєднана до Емітера транзистора ,клемма 2 до бази , клемма 1 до колектора.При вимірюванні параметрів електролітичних конденсаторів крім ємності ,послідовного еквівалентного опору вимірюються значення коефіцієнту втрат в діелектрику яке відображається в %.Прилад дозволяє проводити виміри між будь якими клемми 1,2,3. Для проведення циклічних вимірів параметрів резисторів та конденсаторів використовується клемма 1-3,клемма 1 відзначена червоним кольором. Наприклад при приєднанні резистора прилад автоматично переходить до визначення параметрів резисторів це справелливо при підєднанні до клем 1-3. Для віміру параметрів однотипних елементів притримуємо кнопку тест на 3 секунди прилад ввійде в меню функцій.Меню функцій містить підменю вхід в яке і вибір необхідних параметрів підменю відбувається короткочасним натисканням кнопки «Тест.» Меню функцій приладу містить слідуєчі опції:

- 1.Транзистор.
- 2.Генератор.
- 3.Частотомір.
- 4.Режим самотесту.
- 5.10-бітний ШІМ.
- 6.ESR-метр.
- 7.RL-вимірювач.
- 8.Вимірювач ємності.
- 9.Дані програмного забезпечення та калібровок.
- 10.Корекція вимірювача ємності.
- 11.Вимкнути.

1.Режим транзистор вибирають в даній опції для підвищення швидкодії вимірів, вибір цієї опції дозволяє вимірювати параметри та цоколюнку напівпровідників.

2.Опція Генератор видає сигнал прямокутної форми від до та має підменю вибору частоти генератора.

3.Опція частотомір в даній версії не реалізована.

4.Режим самотесту використовується для калібрування приладу для компенсації опору та ємності вимірювальних щупів при цьому відбувається повне калібрування приладу яке детально описане в пункті Методика калібрування.

5.10-бітний шім використовується як широтно імпульсний генератор з регульованою частотою та коефіцієнтом заповнення.

6.При виборі опції 6 прилад перемикається на вимірювання ємності та еквівалентного послідовного опору конденсатора.

7.При виборі опції 7 вимірюються величини опору та індуктивності.

8.Опція 8 проводить вимір ємності.

9.Опція 9 відображає дані програмного забезпечення та калібрувальні параметри подільників.

10.Опція 10 дозволяє корегувати параметри вимірювача ємності при вимірюванні ємності із застосуванням не каліброваних щупів.Дана опція є одноразовою і не вносить змін в глобальні настройки констант.

11.Опція 11 зберігає налаштування і вимикає прилад.

Для економії енергії джерела живлення при бездіяльності приладу більше 10сек. Відбувається автоматичне вимкнення. Для продовження роботи з приладом необхідно натиснути кнопку тест.

Для забезпечення безвідмовної роботи приладу напругу із тестованих вузлів слід зняти,розрядити конденсатори.Не виконання цієї вимоги приведе до пошкодження приладу.

### 3.3.4 Розрахунок надійності запроектованого приладу

Надійність цифрової системи визначається як якість її роботи при вимогах до неї, і виражає ймовірність правильної функціонування. Розробникам цифрових систем часто доводиться проводити розрахунки щодо надійності системи, яку вони проектують. У кожному випадку їм необхідно знати фактори, які впливають на надійність даної системи.

Надійність описується функцією часу  $P(t)$ —це ймовірність, що система працює в момент часу  $t$ .

Надійність представляє собою дійсне число від 0 до 1: в будь-який момент часу  $0 \leq P(t) \leq 1$ . Ми припускаємо, що  $P(t)$  представляє собою функцію, що монотонно спадає, і після виникнення відмови вона залишається незмінною; ми не враховуємо можливості відновлення. Під поняттям надійності ми розуміємо, що ймовірність визначається за відомою математичною формулою. Якщо цього не відбувається, то найзручніше виражати надійність та відповідну ймовірність у термінах, які застосовуються під час експерименту. Допустимо, що нам потрібно побудувати та використовувати  $N$  ідентичних екземплярів розглядуваного пристрою.

Нехай  $W_N(t)$  означає число пристроїв, котрі продовжують робити в момент часу  $t$ . Тоді:

$$P(t) = \lim_{N \rightarrow \infty} W_N(t) / N \quad (3.1)$$

Іншими словами, якщо ми виготовимо багато пристроїв, то  $P(t)$  визначає частку пристроїв, які залишаються функціональними до моменту часу  $t$ . При обговоренні надійності конкретного пристрою ми використовуємо наш досвід роботи з великою кількістю пристроїв як оцінку ймовірності успішної роботи даного пристрою.

Якщо б єдиним способом знаходження  $P(t)$  було б проведення

експерименту, то це коштувало б значних витрат: прийшлося би виготовляти та випробувати  $N$  екземплярів одного і того ж пристрою. Гірше того, для будь-якого  $t$  ми не знали б значення  $P(t)$  до тих пір, поки реально би не пройшов інтервал часу тривалості  $t$ .

Отже, для відповіді на питання замовника нам довелося б виготовити велику кількість пристроїв і очікувати протягом року; до того часу потенційний замовник вже міг би придбати інші товари.

Замість цього можна оцінити надійність системи за допомогою простої математичної моделі, використовуючи інформацію про надійність окремих компонентів. Надійність довговічних компонентів, таких як КМОП мікросхеми, може бути відома на основі результатів фактичних експериментів і опублікована. З іншого боку, для нових компонентів, наприклад, мікропроцесора *Sexium*, можна оцінити надійність, екстраполюючи досвід роботи з аналогічними пристроями. У будь-якому випадку, надійність компоненту, як правило, характеризується одним числом - "інтенсивністю відмов".

Інтенсивність відмов (*failure rate*) – це число відмов компоненту або системи в одиницю часу.

В математичних виразах інтенсивність відмов часто позначається грецькою літерою  $\lambda$ . Оскільки відмови в електронному обладнанні відбуваються рідко, інтенсивність відмов визначається або оцінюється через дослідження значної кількості однакових екземплярів даного компоненту чи пристрою. Наприклад, якщо ми приділяємо увагу роботі 10000 мікропроцесорів протягом 1000 годин і за цей час вісім з них вийшли з ладу, то можна стверджувати, що інтенсивність відмов дорівнює.

Отже, інтенсивність відмов, обчислена на одну мікросхему, становить  $8 \cdot 10^{-7}$  відмов/год. У реальності оцінка надійності групи мікросхем не є такою простою, як було описано вище; для більш повної інформації слід звертатися до спеціальної літератури.

Оскільки у типових електронних компонентів інтенсивність відмов дуже мала, прийнято вказувати її числом одиниць в тому або іншому часовому

масштабі: процент відмов за  $10^3$  годин, число відмов за  $10^6$  годин або за  $10^9$  годин. Остання одиниця називається FIT:

$$1\text{FIT}=1\text{відмова}/(10^9\text{ годин}) . \quad (3.2)$$

можна сказати, що в попередньому прикладі із мікропроцесором  $\lambda=800\text{FIT}$ .

Для стандартного електронного компонента інтенсивність відмов залежить від часу. Зазвичай, компонент має високу інтенсивність відмов протягом початкового періоду служби, коли спостерігається значна кількість виробничих дефектів. Відмови в цей період часу називаються "відмовами на початковому етапі експлуатації".

У зв'язку з високою ймовірністю виникнення відмов у початковому періоді експлуатації в процесі виготовлення високоякісного обладнання проводиться його випробування на відмову (burn-in). Це означає, що перед тим, як відправити обладнання замовнику, протягом певного часу (від 8 годин до 8 діб) його роботу стежать. Під час випробування на відмову більшість збоїв, які можуть виникнути в початковий період, виявляються на виробництві, а не у користувача.

Здається, що навіть без ретельної перевірки на відмову в початковий період експлуатації, гарантія тривалістю 90 днів, яка надається багатьма виробниками електронного обладнання, фактично охоплює більшість відмов, що виникають протягом перших років експлуатації. У цьому випадку ситуація принципово відрізняється від тієї, що характерна для автомобілів або інших механічних пристроїв, де інтенсивність відмов з часом зростає внаслідок зносу.

Якщо електронний компонент успішно пройшов випробування на відмову, можна припускати, що інтенсивність відмов залишиться майже постійною. Проте на пізніших етапах експлуатації може відбуватися знос (wear-out) компоненту, що призводить до збільшення інтенсивності відмов. Раніше, часто після кількох тисяч годин роботи, спостерігалось погіршення характеристик електронних ламп через старіння катоду, викликане тепловими

навантаженнями.

Зараз у більшості випадків електронне обладнання стає застарілим перед тим, як виявляються відмови напівпровідникових компонентів. Наприклад, не зважаючи на те, що широке використання перепрограмованих ПЗП почалося понад 25 років тому, і більшість з них гарантує збереження даних лише протягом 10 років, масових відмов обладнання, викликаних втратою інформації, не відзначається.

Отже, на практиці при розрахунках надійності електронних компонентів враховуються відмови, які можуть виникнути як у початковий період роботи, так і у кінці строку служби з причини зносу. Загальна надійність обчислюється за умови, що інтенсивність відмов електронного обладнання залишається сталим фактором протягом нормального строку служби. Це припущення означає, що ймовірність відмови однакова у будь-який момент часу протягом життєвого циклу компонента, що дозволяє використовувати спрощену математичну модель для прогнозування надійності системи.

Додатково, існують інші фактори, які впливають на інтенсивність відмов компоненту, такі як температура, вологість, ударні впливи, вібрація і періодичні вмикання та вимикання живлення. У випадку інтегральних схем (ІС) температурний фактор є найбільш суттєвим. Багато механізмів відмов ІС пов'язані з хімічними реакціями, що відбуваються в кристалі напівпровідника через різні види забруднень, які активізуються при вищих температурах. Також електричні перенавантаження транзисторів суттєво впливають на надійність, приводячи до їх перегріву, і це стає частіше при вищих температурах, на яких працює пристрій.

Інтенсивність відмов інтегральних схем приблизно подвоюється з кожним підняттям їх температури на 10 градусів Цельсія. Це правило, в більшій або меншій мірі, також стосується більшості інших електронних компонентів. Важливо відзначити, що тут мова йде про "внутрішню" температуру ІС, а не про температуру навколишнього повітря. У системі без повітряного охолодження внутрішня температура компонента, який витрачає значну потужність, може бути на 40–50 градусів вищою, ніж температура оточуючого

середовища. Ефективний вентилятор дозволяє зменшити цю різницю до 10–20 градусів, що призводить до зниження інтенсивності відмов компонентів в 10 разів.

Надійність є експоненціальною функцією часу:

$$P(t) = e^{-\lambda t}. \quad (3.3)$$

Іншим критерієм надійності компоненту або системи служить середній час між відмовами  $T$  (mean time between failures, MTBF), тобто середній час, після якого компонент виходить із ладу. Для компонентів із постійною інтенсивністю відмов  $\lambda$  середній час між відмовами просто рівний величині, зворотній  $\lambda$ :

$$T=1/ \lambda_{\text{сис}} \quad (3.4)$$

Припустимо, що ми побудували систему із  $m$  компонентів із інтенсивністю відмов  $\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_m$ . Покладемо, що для правильної роботи системи всі компоненти мають бути справними. Згідно елементарній теорії ймовірності, надійність системи в цьому випадку знаходиться за формулою:

$$\begin{aligned} P_{\text{сис}}(t) &= P_1(t) \cdot P_2(t) \cdot \dots \cdot P_m(t) = e^{-\lambda_{\text{сп1}}t} \cdot e^{-\lambda_{\text{сп2}}t} \cdot \dots \cdot e^{-\lambda_{\text{спn}}t} = \\ &= e^{-(\lambda_1 + \lambda_2 + \dots + \lambda_m)t} = e^{-\lambda_{\text{сис}}t}; \end{aligned} \quad (3.5)$$

$$\text{де } \lambda_{\text{сис}} = \lambda_{\text{гр1}} + \lambda_{\text{гр2}} + \dots + \lambda_{\text{грn}}$$

Таким чином, надійність системи також є показниковою функцією, в котрому інтенсивність відмов системи  $\lambda_{\text{сис}}$  рівна сумі інтенсивності відмов окремих компонентів.

У таблиці 3.1 наведено розрахунок надійності мікроконтролерного вимірювача .

Таблиця 3.1 - Розрахунок надійності

Назва елемента	Кілк. Елементів $n_i$	ІнтенсивВідмов $\lambda_i \cdot 10^{-6}$	Реальна інтенсивВідмов $\lambda_{pi} \cdot 10^{-6}$	Інтенсивність відмов групи $\lambda_{гpi} \cdot 10^{-6}$	Коефіцієнт Навантаження $K_H$	Робоча температура $^{\circ}C$	Поправочний коефіцієнт	Інтенсив. Відмов групи загальна $\lambda_{гp} \cdot 10^{-6}$
Діоди	6	0,45	0,48	2,88	0,4	40	0,42	0,4838
Кнопки	2	0,4	0,47	0,94	0,3	70	0,92	0,2594
Конденсатори	12	0,11	0,117	1,404	0,7	60	0,6	0,5897
Мікросхеми	3	0,24	0,2568	0,7704	0,8	40	0,85	0,52387
П'єзо-випромінювач	1	0,833	0,891	0,891	—	60	1	0,891
Резистори	33	0,043	0,046	1,518	—	70	0,5	0,759
Світлодіод	1	0,542	0,58	0,58	0,7	80	1,05	0,4263
Транзистори	4	0,45	0,48	1,92	0,4	40	0,3	0,2304
Роз'єм	1	0,441	0,471	0,471	—	90	1	0,471
Кварцовий резонатор	1	0,65	0,71	0,71	0,6	50	0,48	0,2045
Пайки	140	0,01	0,12	-	-	40	-	16,8
$\Sigma$								21,6389

$$T_{pc} = \frac{1}{21,6389 \cdot 10^{-6}} \approx 46213 \text{ год}$$

Таким чином, одержане значення безвідмовної роботи (у роках) ,

враховуючи, що рік має 365 днів:

$$T_{pc} = \frac{46213}{365 \cdot 24} \approx 5,25 \text{ років,}$$

що є достатній для даного класу систем і відповідає технічним вимогам на пристрій.

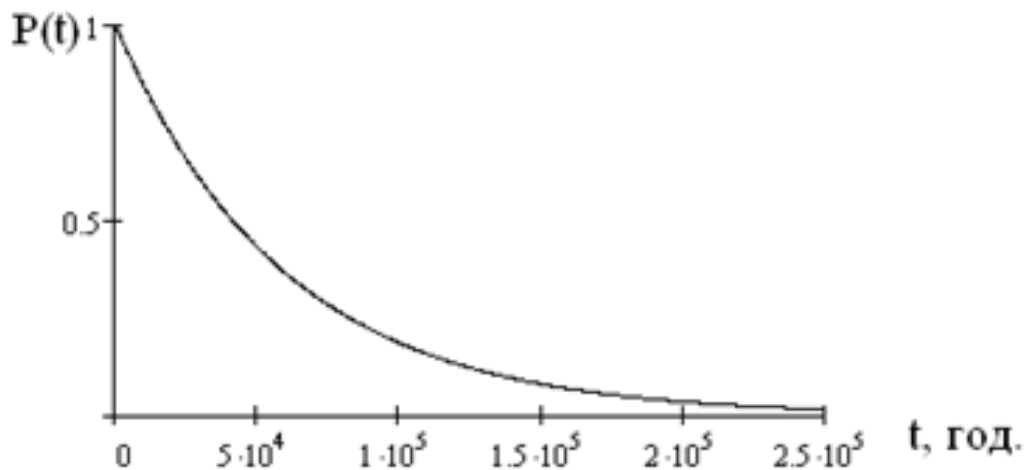


Рисунок.3.1 - Графік залежності ймовірності безвідмовно роботи пристрою від часу

На рисунку 3.1. побудовано графік залежності ймовірності безвідмовної роботи пристрою від часу. Час задано в годинах.

## ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ НА ДЖЕРЕЛА

1. Чеховський С.А., Середюк О.Є., Петришин І.С., Піндус Н.М., Ващишак С.П., Витвицька Л.А., Кононенко М.А., Романів В.М. Метрологія і технологічні вимірювання в нафтогазовій промисловості. Навч. посібник Факел, 2010, с. 500.
2. Н. М. Піндус Метрологія і технологічні вимірювання та прилади в нафтогазовій промисловості: навч. посібник/ С. А. Чеховський, І. С. Петришин, - Івано-Франківськ: ІФНТУНГ, 2010.- 534 с
3. Поліщук Є.С. Методи та засоби вимірювань неелектричних величин: Підручник.- Видавництво Державного університету "Львівська політехніка", 200.- 360 с.
4. Метрологія та вимірювальна техніка : Підручник / Є.С. Поліщук , М.М. Дорожовець, В.О.Яцук, В.М. Ванько, Т.Г. Бойко; За ед.. Е.С. Поліщука. – Львів: Видавництво «Бескид Біт», 2003.-544 с.
5. . Кісіль І. С. Метрологія, точність і надійність засобів вимірювань. Навчальний посібник для студентів вищих навчальних закладів.- Івано-Франківськ: Факел, 2002. – 400 с.
6. Вимірювання витрати та кількості газу: Довідник / Андрієшин М.П., Каневський С.О., Марчук Є.Ф., Карпаш О.М., Петришин І.С., Середюк О.Є., Чеховський С.А. – Івано-Франківськ,: ПП "Сімик", 2004.-160 с.
7. Петришин І.С., Сафронов Б.М. Вимірювання тиску. Навчальний посібник.- Івано-Франківськ: Факел, 2004. – 269 с.
8. Ціделко В.Д., Яремчук Н.А. Невизначеність вимірювання. Обробка даних і подання результату вимірювання :Монографія – К.: "Політехніка", 2002 – 176 с.

## ВИСНОВКИ

В результаті виконання магістерської роботи були розроблені структурна, функціональна та принципова електричні схеми мікроконтролерного інформаційно-вимірювального приладу на базі мікроконтролера фірми Atmel . Виготовлено діючий дослідний взірець аналогу приладу. МК-вимірювач може бути використаний для експлуатації в лабораторних та польових умовах і придатний для вимірювання параметрів радіоелементів без їх відпаювання із схеми. Спроектований пристрій має високі експлуатаційні технічні характеристики та показники надійності. Розрахунковий час безвідмовної роботи складає 5 років і 3 місяці, що є достатнім для даного класу апаратури. Під час експлуатації приладу виявлено зручність та точність виконання діагностування неполадок електричних двигунів, так як прилад вимірює одночасно параметри RL що дозволяє швидко визначити неполадки якірної чи статорної обмоток.

Даний пристрій, завдяки його параметрам, які кращі за аналоги, може бути впроваджений у серійне виробництво і застосовуватися як у промислових лабораторіях по ремонту електрорадіоапаратури так і на підприємствах приладобудування для забезпечення вхідного контролю радіоелементів, майстернях з ремонту побутової техніки.



Вигляд друкованої плати.

