

Міністерство освіти і науки України  
Чернівецький національний університет імені Юрія Федьковича  
Інститут фізико-технічних та комп'ютерних наук  
Кафедра електроніки і енергетики

## **Цифровий сенсор освітленості на основі фоторезистора**

**Дипломна робота**

**Освітній рівень – перший (бакалаврський)**

Виконав: студент 4 курсу, групи 432  
спеціальності

153 – мікро- та наносистемна техніка

(шифр і назва спеціальності)

Максимюк Андрій Михайлович

Керівник Нічий С.В.

До захисту допущено:

Протокол засідання кафедри № \_\_\_\_

від “\_\_” \_\_\_\_\_ 2021 р.

Завідувач кафедри Майструк Е.В.

## **Анотація**

Дипломна робота містить: зміст, вступ, два розділи, висновки, список використаної літератури.

В першій частині описані електронні компоненти реєстрації випромінювання, а саме датчики реєстрації випромінювання та засоби для обробки первинних сигналів від датчиків випромінювання

Другий розділ включає в себе алгоритм роботи пристрою, основні компоненти, проектування та опис принципової електричної схеми пристрою, алгоритм функціонування вбудованого програмного забезпечення, моделювання роботи та випробування пристрою

Загальна кількість сторінок – 40

Кількість рисунків – 28

Кількість таблиць – 3

Кількість використаної літератури – 24.

# Зміст

<b>Вступ.....</b>	<b>4</b>
<b>Розділ 1. Електронні компоненти реєстрації випромінювання</b>	
1.1. Датчики реєстрації випромінювання.....	5
1.1.1. Фізичні величини які визначають величину освітленості.....	5
1.1.2. Фоторезистор як датчики реєстрації випромінювання.....	7
1.1.3. Реєстрація випромінювання за допомогою фотодіодів.....	10
1.2. Засоби для обробки первинних сигналів від датчиків випромінювання.....	12
1.2.1. Аналого-цифрові перетворювачі порозрядного врівноваження.....	12
1.2.2. Інтерфейс передачі даних UART.....	18
1.2.3. Мікроконтролери сімейства PIC16.....	19
<b>Розділ 2. Розробка сенсора освітленості</b>	
2.1. Алгоритм роботи пристрою.....	22
2.2. Компоненти пристрою.....	23
2.2.1. Мікроконтролер PIC16C76.....	23
2.2.2. Фоторезистор GL3516.....	25
2.2.3. Термістор MF52.....	28
2.3. Проектування та опис принципової електричної схеми пристрою.....	30
2.4. Алгоритм функціонування вбудованого програмного забезпечення.....	32
2.5. Моделювання роботи та випробування пристрою.....	34
<b>Висновки.....</b>	<b>35</b>
<b>Список використаної літератури.....</b>	<b>36</b>
<b>Додаток 1 Техніка безпеки.....</b>	<b>39</b>

## Вступ

Засоби автоматизації вимірювань є невід'ємною частиною побудови функціонування в контролюючих, слідкуючих мікропроцесорних систем. Такі системи використовуються в системах «розумний дім», контролю комфортності виробничих, побутових та інших приміщень, в пристроях енергозбереження системах охоронної та пожежної сигналізації. Окремі засоби вимірювань можуть використовуватися для налагодження функціонування інших пристроїв та систем. Зокрема вимірювання освітленості відіграє важливу роль в забезпеченні умов комфортного перебування людини в певному середовищі. Знаючи дану величину можна автоматично задавати величину яскравості освітлювальних приладів. Відомо, що при використанні сонячних панелей їх енергетичні параметри значною мірою залежить від географічного ландшафту та монтажної конструкції, що визначають загальну просторову орієнтацію. Знаючи середню денну інтенсивність сонячного випромінювання можна задати оптимальний монтаж сонячних панелей, які будуть давати найбільший економічний ефект.

Більшість первинних датчиків які виготовлені на основі напівпровідникових матеріалів що перетворюють певну фізичну величину у відповідний електричний сигнал є нелінійними. Крім того величина інтенсивного сигналу залежить від інших неелектричних фізичних величин. Мікроелектронні технології виробництва мікропроцесорних систем та систем на кристалі дають змогу створювати компактні сенсори з відповідними первинними перетворювачами (датчиками). Такі сенсори видають дані від датчика у цифровому форматі які в подальшому можуть бути використані у засобах автоматизації.

Виходячи з вище сказаного метою даної роботи є розробка цифрового сенсора освітленості з використанням фоторезистора. Сенсор повинен забезпечувати видачу величини освітлюваності по інтерфейсу UARTвдесятковому цифровому форматі ASCIIкодуванню повинна бути передбачена можливість підключення LCDдисплея на якому відображається поточна величина освітленості.

# Розділ 1. Електронні компоненти реєстрації випромінювання

## 1.1. Датчики реєстрації випромінювання

### 1.1.1 Фізичні величини які визначають величину освітленості

Фотометрія - розділ оптики, в якому розглядається вимірювання енергії, що переноситься електромагнітними світловими хвилями. Особливість фотометрії полягає в тому, що в ній енергетичні параметри світла визначають за суб'єктивними зоровими відчуттями людини. А ці відчуття такі, що світло різних кольорів (різних довжин хвиль), людина сприймає суттєво по-різному. По-різному в тому сенсі, що однакові за енергетичною потужністю, але різні за кольором світлові потоки, людина сприймає як такі, що мають різну світлову інтенсивність (різну світлову потужність). Наприклад, якщо об'єктивні прилади показують, що червона, жовта та синя лампочки випромінюють однакову кількість світлової енергії (мають однакову потужність), то людина з нормальним зором скаже, що світлова потужність жовтої лампи приблизно в п'ять разів більша, ніж в червоної, і в десять разів більша, ніж в синьої. Факт того, що в фотометрії енергетичні параметри світла оцінюють за зоровими відчуттями людини, по суті означає, що відповідні фізичні величини є суб'єктивними, тобто такими, числові значення яких залежать від особливостей людських відчуттів. Зважаючи на ці обставини, фізичні величини світлової фотометрії ми будемо називати не фізичними, а фотометричними.

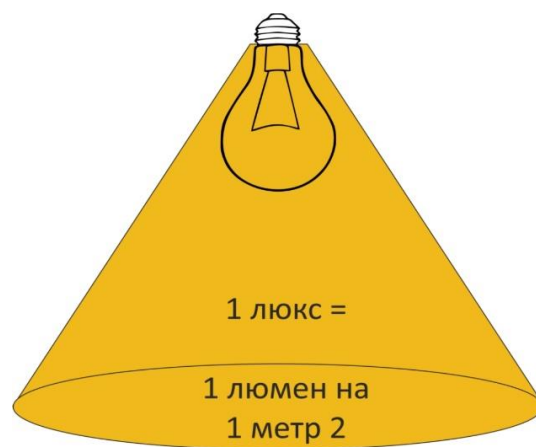


Рис. 1.1. Ілюстрація взаємозв'язку одиниць вимірювання освітленості

Отже у фотометрії використовуються такі величини:

1)енергетичні-характеризують енергетичні параметри оптичного випромінювання

2)світлові- характеризують дії світла і оцінюються по впливу на око або інші приймачі випромінювання

Джерела світла характеризуються кількісними та якісними показниками

До кількісних показників освітлення відносяться: світловий потік, сила світла, освітленість, яскравість.

До якісних: фон, контраст об'єктаз фоном, видимість, коефіцієнт пульсації освітленості.

Розглянемо докладніше. Світловий потік фотометрична величина, яка характеризує світлову потужність джерела світла і яка показує, скільки світлової енергії випромінює дане Джерело за одиницю часу, за умови, що величина цієї енергії визначається за зоровими відчуттями людини.

Позначається:

Визначальне рівняння.  $\Phi = Q/t$

Одиниця вимірювання  $\Phi = \text{лм}$ ,

Люмен - одиниця виміру світлового потоку в Міжнародній системі одиниць (СІ), є світловий величиною. Один люмен дорівнює світловому потоку, що випускається точковим ізотропним джерелом, с силою світла, яка дорівнює одній кандела, в тілесний кут величиною в один стерадіан:  $1 \text{ лм} = 1 \text{ кд} \times \text{ср} (= 1 \text{ лк} \times \text{м}^2)$ . Світловий потік  $\Phi_v$  є скороченої фотометрической величиною, утвореної з енергетичної фотометричної величини за допомогою відносної спектральної чутливості спеціального виду - відносної спектральної світлової ефективності монохроматичного випромінювання для денного зору  $V(\lambda)$ .

Світловий потік монохроматичного випромінювання з довжиною хвилі  $\lambda$ , який виражається в люменах, визначається за формулою

$$\Phi_v = 683 \times \Phi_e \times V(\lambda),$$

де  $\Phi_e$  - потік випромінювання, виражений у ВАТ, а  $V(\lambda)$  - значення відносної спектральної світлової ефективності для денного зору, відповідне тій же довжині хвилі  $\lambda$ .

### 1.1.2. Фоторезистори як датчики реєстрації випромінювання

Фоторезистор - це резистор, опір якого залежить від кількості падаючого на нього світла. Фоторезистори виготовляються з напівпровідникових матеріалів, завдяки цьому вони і набувають чутливі до світла властивості. Найбільш популярний матеріал для виготовлення фоторезисторів - це сульфід кадмію. Фоторезистори працюють за так званим принципом "фотопровідності", тобто коли світло починає падати на фоторезистор його провідність збільшується, відповідно, його опір зменшується. А коли кількість світла, що падає на фоторезистор, зменшується, його опір збільшується[19].

Для напівпровідника можуть використовуватися такі матеріали як: CdS, PbS та інші. Від вибору матеріалу при виготовленні фоторезистора залежить його спектральна характеристика. Простими словами - діапазон кольорів (довжин хвиль) при освітленні якими буде коректно змінюватися опір елемента. Тому вибираючи фоторезистор, потрібно враховувати в якому спектрі він працює. Наприклад, під УФ-чутливі елементи потрібно підбирати ті види випромінювачів, спектральні характеристики яких підійдуть до фоторезистора[14]. Малюнок, який описує спектральні характеристики кожного з матеріалів зображений нижче.

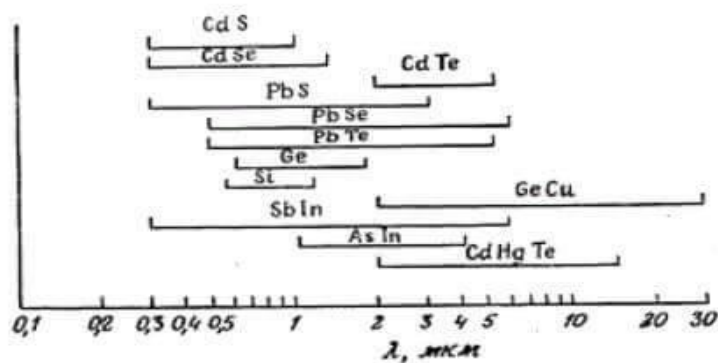


Рис 1.2. Спектральні характеристики матеріалів



Рис.1.3. Фоторезистор

Вольт-амперні характеристики фоторезистора представляють собою залежність струму через фоторезистор (фотострум) від прикладеної напруги, при постійній освітленості. Розрізняють два струми: світловий (1 при освітленні фоторезистора) і темновий (2 в темряві). В робочому діапазоні напруг вольт-амперні характеристики фоторезисторів при різних значеннях світлового потоку практично лінійні. Але у більшості плівкових фоторезисторів лінійність вольт-амперної характеристики порушується при малих напругах. Ця не лінійність зв'язана з явищем на контактах між окремими зернами або кристалами напівпровідника.

Фоторезистор не призначений для точного вимірювання освітленості, а, скоріше, для визначення наявності світла, за його свідченнями можна визначити світліше або темніше стала довкілля. Вольт-амперна характеристика фоторезистора виглядає наступним чином:

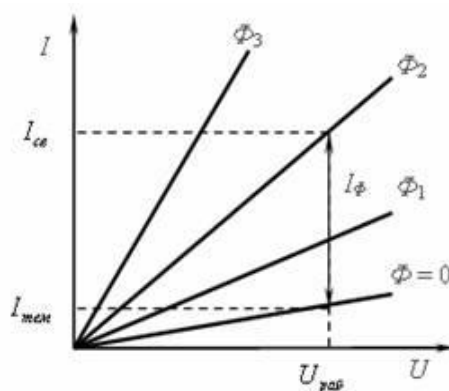


Рис.1.4. Вольт-амперна характеристика фоторезистора



На ній зображена залежність струму від напруги при різних величинах світлового потоку:  $\Phi$  - темрява, а  $\Phi_3$  - це яскраве світло. Вона лінійна. Ще одна важлива характеристика - це чутливість, вона вимірюється в  $\text{мА (мкА) / (Лм * В)}$ . Що відображає, скільки струму протікає через резистор, при певному світловому потоці і доданому напрузі.

У фоторезисторів є істотний недолік - його гранична частота. Це величина описує максимальну частоту синусоїдального сигналу, яким ви моделюєте світловий потік, при якій чутливість знижується на 1.41 раз. У довідниках це відбивається або значенням частоти, або через постійну часу. Вона відображає швидкодію приладів, яке зазвичай займає десятки мікросекунд -  $10^{-5}$  с. Це не дозволяє використовувати його там, де потрібно висока швидкодія.

Світлова вольт-амперна характеристика фоторезистора. Світлова або люкс-амперна характеристика фоторезистора представляє собою залежність фотоструму від освітленості. Фоторезистори звичайно мають сублінійну світлову характеристику

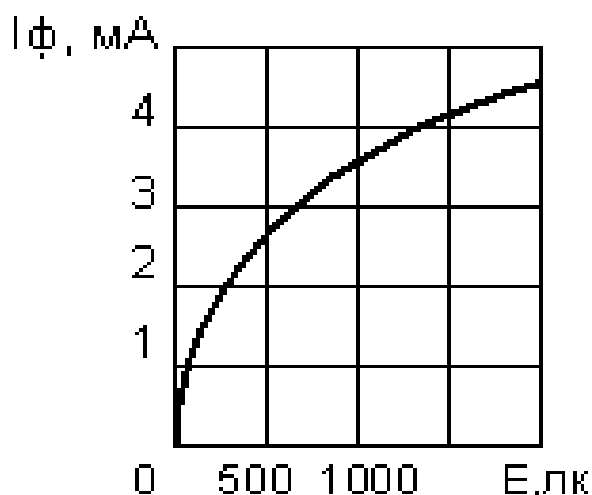


Рис.1.5. Люкс амперна характеристика фоторезистора

Спектральна характеристика фоторезистора – це залежність фотоструму від довжини хвилі падаючого світла на робочу площадку фоторезистора. Тому при виготовленні фоторезисторів враховується довжина хвилі, при якій буде працювати

фоторезистор. Наприклад інфрачервоні фоторезистори мають найбільшу чутливість при інфрачервоному освітленні, ніж при звичайному.

Постійна часу – це швидкість зміни опору фоторезистора, при зміні освітленості - інерція

Для визначення швидкості спочатку фоторезистор на деякий час розміщують під джерелом світла (200лк), потім повністю затемнюють фоторезистор і вимірюють час за який фоторезистор відновить свій опір на 63%.

Звичайні фоторезистори звичайно мають порівняно велику інерцію, і тому фоторезистори можуть сприймати світлові імпульси з частотою декілька кілогерц.

Темновий опір – це опір фоторезистора при відсутності світла. Темновий опір прийнято вимірювати через 30 секунд після затемнення фоторезистора, який перед цим знаходився під освітленістю 200лк.

Питома чутливість – це відношення фотоструму до світлового потоку і прикладеної напруги.

Чутливість називають інтегральною, тому, що її вимірюють при освітленні фоторезистора світлом складного спектрального складу: від джерела світла з кольором температури 2840К при освітленості 200лк. Питомі інтегральні чутливості різних фоторезисторів від 1 до 600 мА/(В×лм)[9].

### **1.1.3. Реєстрація випромінювання за допомогою фотодіодів**

Фотодіод - елемент, який перетворює світло, що потрапляє на чутливу зону, в електричний заряд. Це відбувається тому що при опроміненні в р-п переході протікають різні процеси пов'язані з рухом носіїв заряду. За структурою він такий же, як і звичайний діод, але на його корпусі є вікно для проходження світла. Зовні вони бувають в різних виглядах[2].

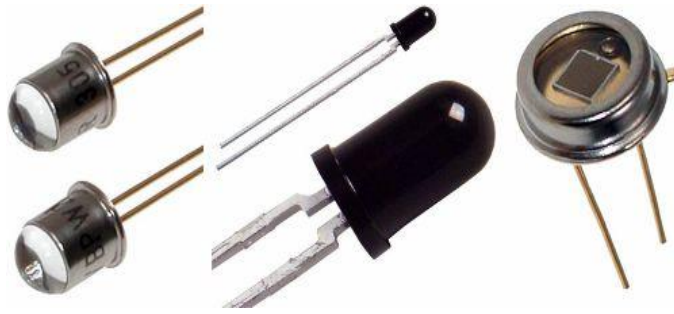


Рис.1.6. Різні вигляди фотодіодів

Фотодіоди з чорним корпусом сприймають тільки ІК-випромінювання. Чорне покриття - це щось схоже на тонування. Фільтрує ІК-спектр, щоб виключити можливість спрацьовування на випромінювання інших спектрів.

У фотодіодів, як і у фоторезисторів є гранична частота, тільки тут вона на порядки більше і досягає 10 МГц, що дозволяє забезпечити непогану швидкодію. Р-і-N фотодіоди мають більшу швидкодію - 100МГц-1 ГГц, як і діоди на підставі бар'єру Шотткі. Лавинні діоди мають граничну частоту в порядку 1-10 ГГц.

Якщо на фоторезистори змінювалася провідність через рух носіїв заряду в напівпровіднику, то тут відбувається утворення заряду на кордоні р-n переходу. Він може працювати в режимі фотоперетворювача і фотогенератора.

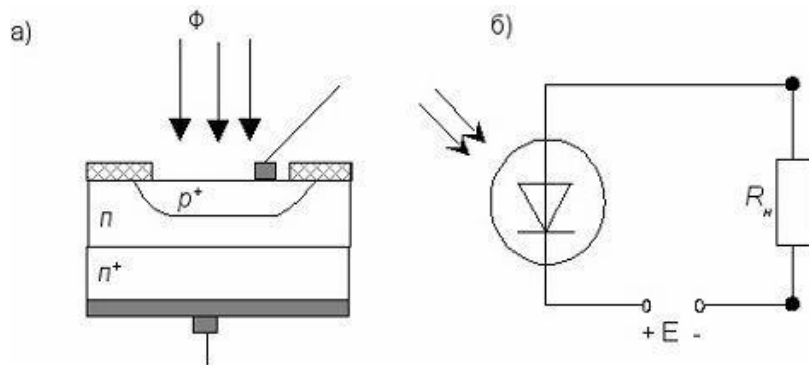


Рис.1.7. Увімкнення фотодіода в режимі фотогенератора: а) принцип роботи; б) схема увімкнення фотодіода.

У режимі фотоперетворювача такий діод працює як ключ керований світлом, для цього його підключають в ланцюг взворотному зміщенні. Тобто, катодом до точки

з більш позитивним потенціалом (до плюса), а анодом до більш негативного (до мінуса).

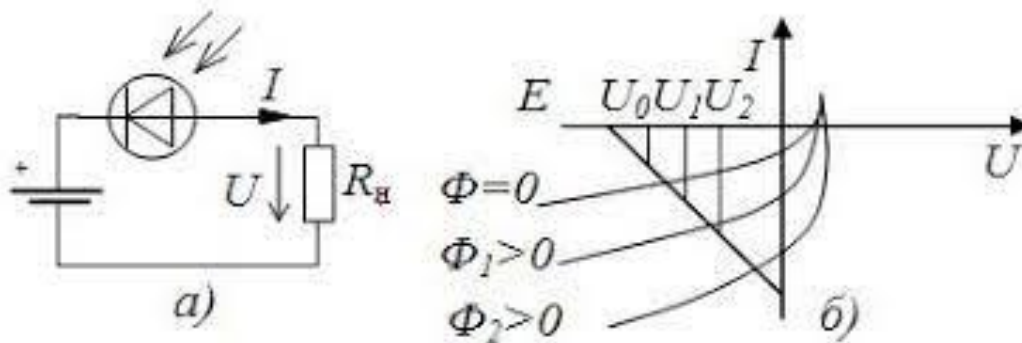


Рис.1.8. Увімкнення фотодіода в режимі фотоприймача: а) схема увімкнення фотодіода; б) вольт-амперна характеристика фотодіода.

Коли діод не освітлюється світлом - в ланцюзі протікає тільки зворотній темновий потік Іюберт (одиниці і десятки мкА), а коли діод освітлений до нього додається фотопотік, який залежить тільки від ступеня освітленості (десятки мА). Чим більше світла - тим більше струм.

## 1.2. Засоби для обробки первинних сигналів від датчиків випромінювання

### 1.2.1. Аналогово-цифрові перетворювачі порозрядного врівноваження

Пристрої, які приймають вхідні аналогові сигнали та генерують відповідні до них цифрові сигнали, а також які придатні для обробки мікропроцесорами та іншими цифровими пристроями називаються аналого-цифровими перетворювачами (АЦП).

Принципово не виключена можливість перетворення різних фізичних величин в цифрову форму, однак це завдання вдається розв'язати тільки досить рідко через складність таких перетворювачів. Тому найраціональнішим зараз вважається спосіб перетворення різних за фізичною природою величин спочатку в функціонально пов'язані з ними електричні, а пізніше уже за допомогою перетворювачів напруга - код – в цифрові. Мають на увазі саме їх, коли говорять про АЦП.

Для сигналів зі строго обмеженим спектром цей вираз є тотожністю. Однак спектри реальних сигналів прямують безпосередньо до нуля тільки асимптотично. Застосування рівномірної дискретизації до таких сигналів викликає виникнення в системах обробки інформації специфічних високочастотних спотворень, які зумовлені вибіркою. Для зменшення цих спотворень необхідно або збільшувати частоту дискретизації, або використовувати перед АЦП додатковий фільтр нижніх частот, який обмежуватиме спектр вхідного сигналу перед його аналого-цифровим перетворенням.

У загальному випадку вибір частоти дискретизації буде залежати також від вигляду функції  $f(t)$ , що використовується в першій формулі розділу та допустимого рівня похибок, які виникають при відновленні початкового сигналу за його відліками. Усе це необхідно враховувати при виборі частоти дискретизації, яка визначає необхідну швидкодію АЦП. Часто цей параметр задають розробнику АЦП.

Розглянемо докладніше місце АЦП при виконанні операції дискретизації. Для достатньо вузько смугових сигналів операцію дискретизації можна виконувати за допомогою самих АЦП і суміщати таким чином з операцією квантування. Основною закономірністю такої дискретизації є те, що за рахунок скінченного часу одного перетворення та невизначеності моменту його закінчення, який, у загальному випадку, залежить від параметрів вхідного сигналу, не вдається отримати однозначної відповідності між значеннями відліків та моментами часу, до яких їх потрібно віднести. В результаті при роботі із сигналами, які змінюються в часі, виникають специфічні похибки, динамічні за своєю природою, для оцінки яких вводять поняття апертурної невизначеності, яка переважно характеризується апертурним часом.

Якщо використовувати інший вигляд ефекту апертурної невизначеності, то її наявність викликає "тремтіння" істинних моментів часу, в які беруться відліки сигналу, відносно моментів, які рівновіддалені на осі часу. В результаті замість рівномірної дискретизації зі строго постійним періодом проводиться дискретизація з флюктуючим періодом повторення. Це викликає порушення умов теореми відліків та появи уже розглянутих апертурних похибок в системах цифрової обробки інформації.

Зазвичай для оцінки синусоїдального випробувального сигналу використовують апертурну похибку.

Якщо взяти до уваги, що для  $n$ -розрядного АЦП з роздільною здатністю апертурна похибка не може перевищувати крок квантування, то залежність між відносною апертурною похибкою та частотою сигналу і апертурним часом буде такою:

Для забезпечення дискретизації синусоїдального сигналу частота якого 100 кГц з похибкою 1% час перетворення АЦП повинен бути рівним 25 нс. У той же час за допомогою такого швидкодіючого АЦП принципово можна дискредитувати сигнали, які мають ширину спектра біля 20 МГц. Таким чином, дискретизація за допомогою самого АЦП викликає суттєве розходження вимог між швидкодією АЦП та періодом дискретизації. Це розходження досягає 2-3 порядків та дуже ускладнює і здорожує процес дискретизації, оскільки навіть для порівняно вузькополосних сигналів потребує досить швидкодіючих АЦП. Для достатньо широкого класу сигналів, які швидко змінюються, цю проблему вирішують за допомогою пристроїв вибірки-зберігання, що мають малий апертурний час.

Зараз відома велика кількість методів перетворення напруга – код. Ці методи суттєво відрізняються один від одного потенційною точністю, швидкістю перетворення та складністю апаратної реалізації. В основу класифікації АЦП покладено ознаку, яка вказує на те, як в часі розгортається процес перетворення аналогової величини в цифрову. В основі перетворення вибіркового значення сигналу в цифрові еквіваленти лежать операції квантування та кодування. Проводитись вони можуть за допомогою або паралельної, або послідовної або послідовно-паралельної процедур наближення цифрового еквівалента до перетворюваної величини.

Ідеальна функція перетворення в модулі АЦП вхідний аналоговий сигнал перетвориться в цифровий код за певною передавальною функцією. Ідеальна передавальна функція є лінійною. На рисунку .. показана ідеальна передавальна функція для модуля АЦП PIC16C76. Для даної функції при нульовому напруги і на вході АЦП формується цифровий код рівний 00h. У деяких типах АЦП перша точка переходу знаходиться в 0.5Lsb, а не в 1Lsb, як показано на рисунку.... Для будь-якої з показаних передавальних функцій можна провести корекцію цифрового результату.

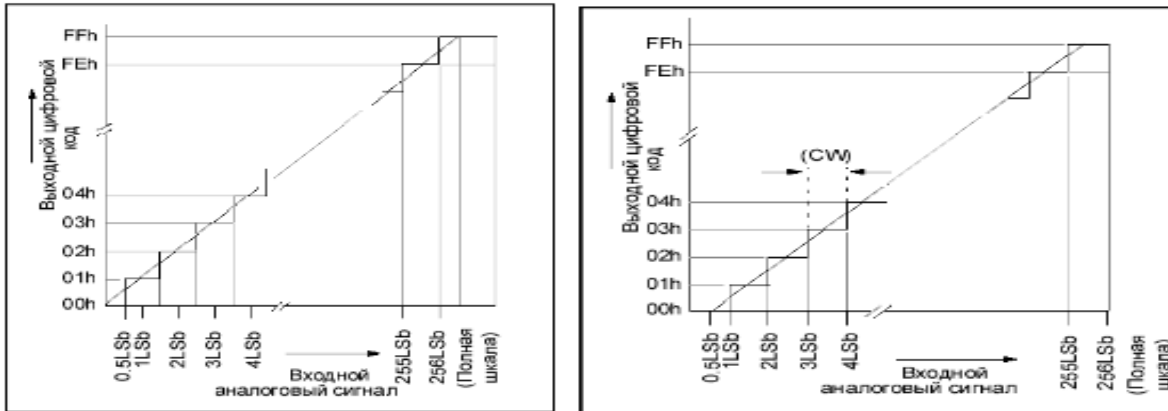


Рис.1.9. передавальна функція: а) ідеальна функція; б) альтернативна функція.

Точка переходу напруження на аналоговому вході, при якому відбувається перехід від одного коду до іншого, називається точкою переходу. Точка переходу має деяку область напруг, в якій може відбутися зміна цифрового коду (рисунок ..). Тому точка переходу визначається як середнє значення з області можливих. Область точки переходу - це область, в якій невизначеність вихідного коду дорівнює 50%.

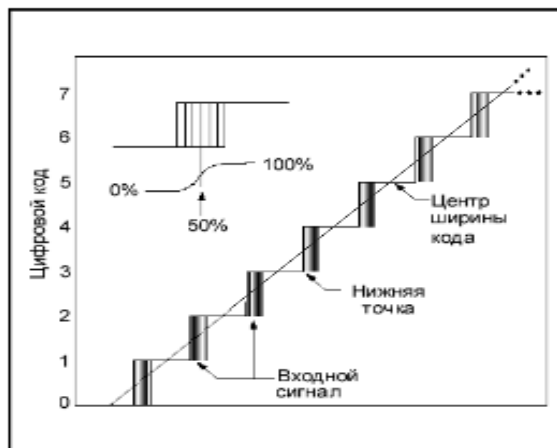


Рис.1.10. Точки переходу при перетворенні АЦП

Ширина коду це відстань між двома точками переходу називається - шириною коду. Ідеальна ширина коду дорівнює 1Lsb (рисунок..). Середина між двома точками переходу називається - центр ширини коду (рисунок ..).

Диференціальна не лінійність (помилка) DNL Диференційна нелінійність - це відхилення ширини коду від значення 1 Lsb. Диференційною помилкою є найбільше відхилення ширини коду без урахування інших помилок, але не більше 1 Lsb.

Абсолютна похибка Максимальне відхилення між будь-якою точкою переходу і ідеальної функцією перетворення є абсолютною похибкою. На рис.. показаний приклад для PIC16C76.

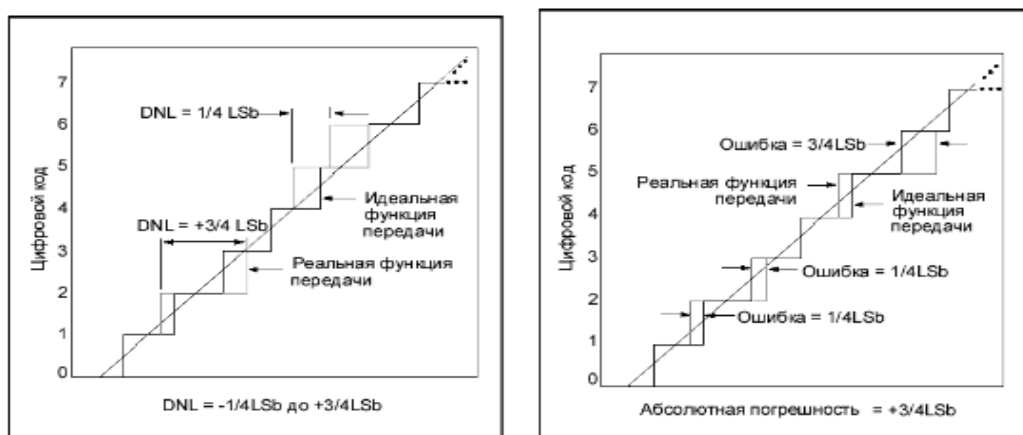


Рис.1.11. а) Дефринційнелінійність АЦП; б) абсолютна похибка

Помилка дискретизації в деякому діапазоні напруг на аналоговому вході цифровий результат буде один і той же. Це виникає через дискретизації, яка немінуча при перетворенні аналогової величини в цифрову форму. Помилка дискретизації становить  $\pm 1/2$  значущого біта, єдиний спосіб зменшити її збільшити розрядність АЦП.

Монотонність гарантує, що збільшення зменшення аналогового сигналу призведе до рівного перетворенню цифрового коду. Монотонність не враховує помилку дискретизації, але має важливе значення для систем управління. Перша похідна монотонної функції має той же знак, що і сама функція.

Помилку зміщення становить різницю між результатом першого перетворення і ідеальним значенням. Ця помилка зрушує всю передавальну функцію і може бути врахована за допомогою калібрування. Помилка вноситься в результаті накладення тільки в витоку і вихідного опору джерела сигналу.

Помилка посилення вимірюється як максимальне відхилення результату, скоригованого з урахуванням помилки зсуву. Ця помилка проявляється у видозмінах



нахилу передаточної функції. Помилка посилення може бути відкалібрована і врахована.

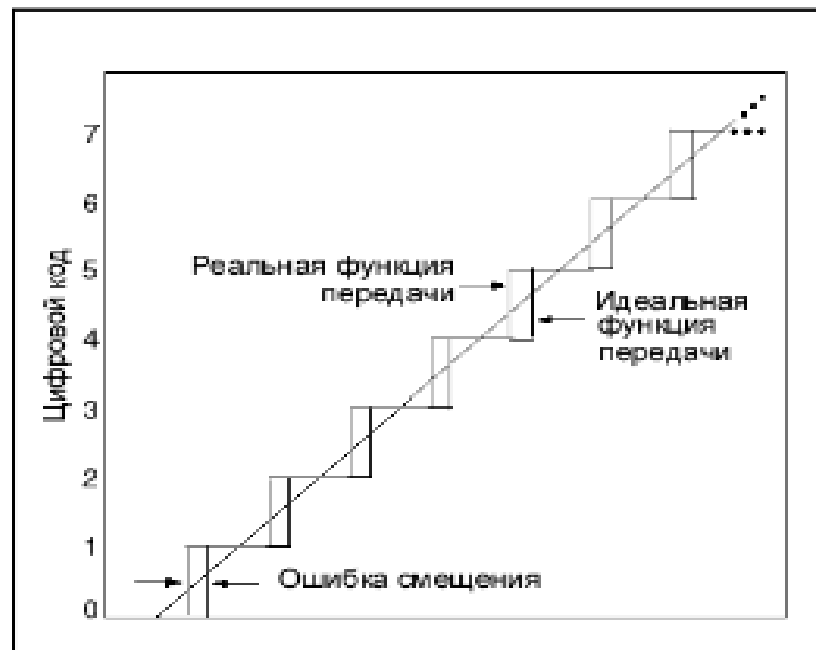


Рис.1.12. Помилка зміщення



Рис.1.13. Помилка підсилення

Помилка лінійності визначається як різниця в перетворення вхідної напруги для отримання однакового збільшення вихідного коду і не піддається калібрування.

Інтегральна помилка обчислюється як відхилення результату, скоригованого з урахуванням помилки посилення.

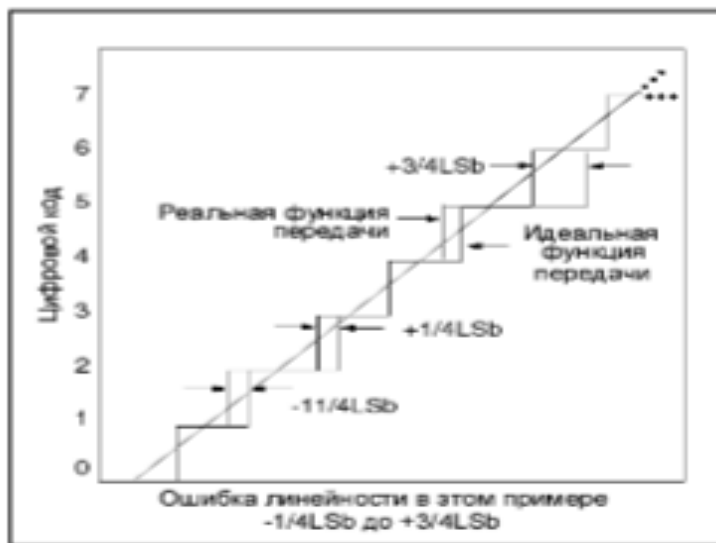


Рис.1.14. Помилка лінійності

### 1.2.2. Інтерфейс передачі даних UART

Універсальний асинхронний приймач / передавач (UART) являє собою блок схем, відповідальний за реалізацію послідовної зв'язку. По суті, UART виступає в якості посередника між паралельними і послідовними інтерфейсами. На одному кінці UART є шина з восьми (або близько того) ліній даних (плюс деякі керуючі контакти), з іншого – два послідовних дроти – RX і TX.

Правила послідовного інтерфейсу. Асинхронний послідовний протокол має ряд вбудованих правил – механізмів, які допомагають забезпечити надійну і безпомилкову передачу даних. Це ті механізми, які дозволяють передавати дані без використання зовнішнього тактового сигналу:

- 1) біти даних;
- 2) біти синхронізації;
- 3) біти перевірки парності;
- 4) швидкість передачі.

Завдяки поєднанню цих правил – параметрів, протокол дуже гнучкий. Для успішної зв'язку потрібно переконатися, що обидва пристрої на шині налаштовані на використання однакових правил.

Алгоритм передачі даних представлений на рисунку нижче



Рис.1.15. Алгоритм передачі даних

Інтерфейси UART існують у вигляді окремих мікросхем, але частіше за все вони вбудовані в мікроконтролери.

R і T в термінології UART несуть відповідальність за відправку та отримання послідовних даних. На стороні передачі UART повинен створити пакет даних – додавання бітів синхронізації і парності – і відправити цей пакет по лінії TX відповідно до встановленої швидкості передачі інформації. На стороні прийому UART повинен перевіряти лінію RX зі швидкістю, що відповідає очікуваній швидкості передачі в бодах, вибрати біти синхронізації і виділяти дані.

Більш просунуті UART можуть передавати отримані дані в буфер, де вони будуть залишатися до тих пір, поки мікроконтролер не зможе їх отримати і обробити. Зазвичай UART видають дані за принципом «першим увійшов – першим вийшов» (FIFO). Буфери можуть бути як маленькими, так і великими, більше тисячі байтів.

### 1.2.3. Мікроконтролери сімейства PIC16

Ідеологія PIC суттєво відрізнялася від МК сімейств MCS – 48/51. Поперше, RISC (а не CISC) архітектура, по-друге, скорочений в 3 рази набіркоманд, по-третє, поліпшені навантажувальні параметри портів введення/виведення і, на завершення,

низька вартість, хороша швидкодія, мініатюрність корпусу одноразово програмованих чипів. Мікроконтролери PIC випускають 8 та 16 розрядною шиною даних. Мікроконтролери PIC випускають з 12, 14, 16-розрядними командами. Мікроконтролери сімейства PIC16 рис містять універсальний процесор, за допомогою якого можна реалізувати рішення широкого кола завдань, необхідно лише написати програму під необхідні умови задачі.

Для написання програм на асемблері в мікроконтролерах PIC16 використовується 35 простих команд (інструкцій). Більшість команд виконуються за один машинний цикл, але є команди, для яких потрібно два машинних циклу. Тривалість машинного циклу дорівнює 4 періодів тактового генератора. Наприклад, якщо у нас стоїть кварц на 4 МГц, то тривалість машинного циклу дорівнює 1 мкс, при частоті кварцу в 20 МГц (що є максимумом для цих мікроконтролерів), машинний цикл дорівнює 200 нс або 0,2 мкс.

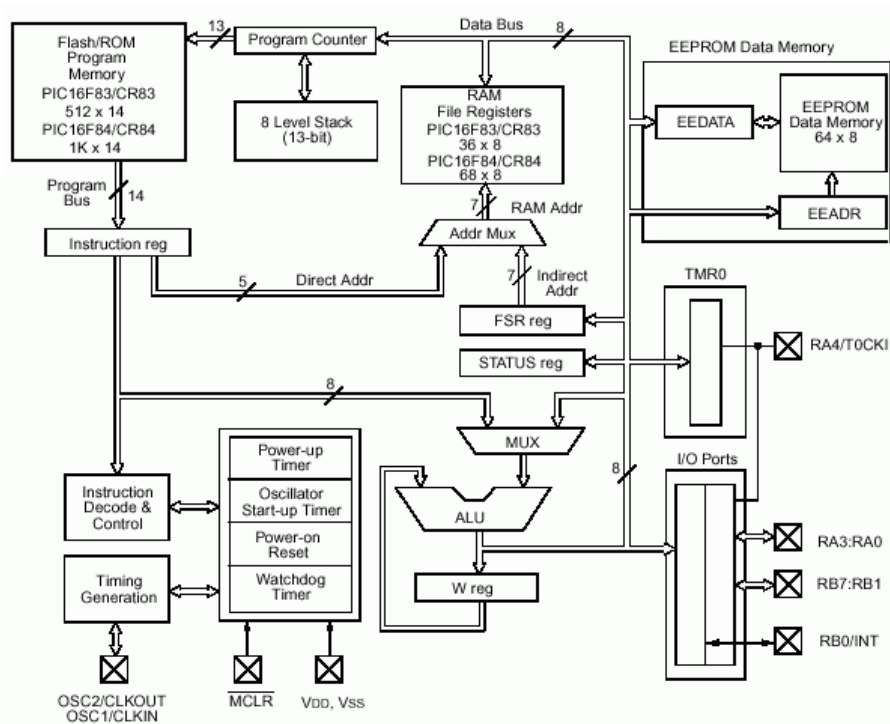


Рис.1.16. Схема роботи мікроконтролерів PIC16

У мікроконтролерах сімейства PIC16 є 3 види пам'яті: пам'ять програм, пам'ять даних і незалежна пам'ять EEPROM. Пам'ять даних складається з регістрів загального

призначення (GPR) і регістрів спеціального призначення (SFR). Всі ці регістри одnobайтні, і є елементами оперативної пам'яті мікроконтролера, тобто зберігають інформацію тільки при наявності харчування, операції з обома типами регістрів виконується одними і тими ж командами. Регістри спеціального призначення призначені для управління функціями ядра і периферійними модулями мікроконтролера, назви регістрів однакові для всіх типів мікроконтролерів сімейства PIC16, що дуже зручно при переході з одного мікроконтролера на інший. Регістри загального призначення використовується як тимчасова пам'ять при виконанні різних логічних і обчислювальних операцій, простіше кажучи, це ОЗУ. Пам'ять даних поділяється на банки, два або чотири, в залежності від типу мікроконтролера. Якщо розглядати окремий банк за адресами, то спочатку йдуть регістри спеціального призначення, потім регістри загального призначення.

Мікроконтролери PIC мають спадкоємність в розташуванні виводів знизу-вгору. Тобто, 8 вивідні МК можна поставити в панель для 14 та 20 вивідних, при цьому живлення подається правильно і навіть назви ліній портів залишаються тим же самими (рисунок 1). Крім того, нові моделі PIC старшої підродини випускаються «pin - to - pin» (вивід до виводу) сумісними з середньою підородиною, що позитивно позначається при заміні. Мікроконтролери PIC12F629, PIC 12F675, PIC16F628A, PIC16F876A найчастіше використовуються у реальних конструкціях.

## Розділ 2. Розробка сенсора освітленості

### 2.1. Алгоритм роботи пристрою

Згідно мети поставленої даної роботи цифровий сенсор освітленості повинен вимірювати величину освітленості і передавати дані вимірів по інтерфейсу UART для систем які будуть його використовувати. Центральним пристроєм який буде здійснювати вимірювання величини освітлення повинен бути реалізований на мікроконтролері PIC16C76 (рис2.1).

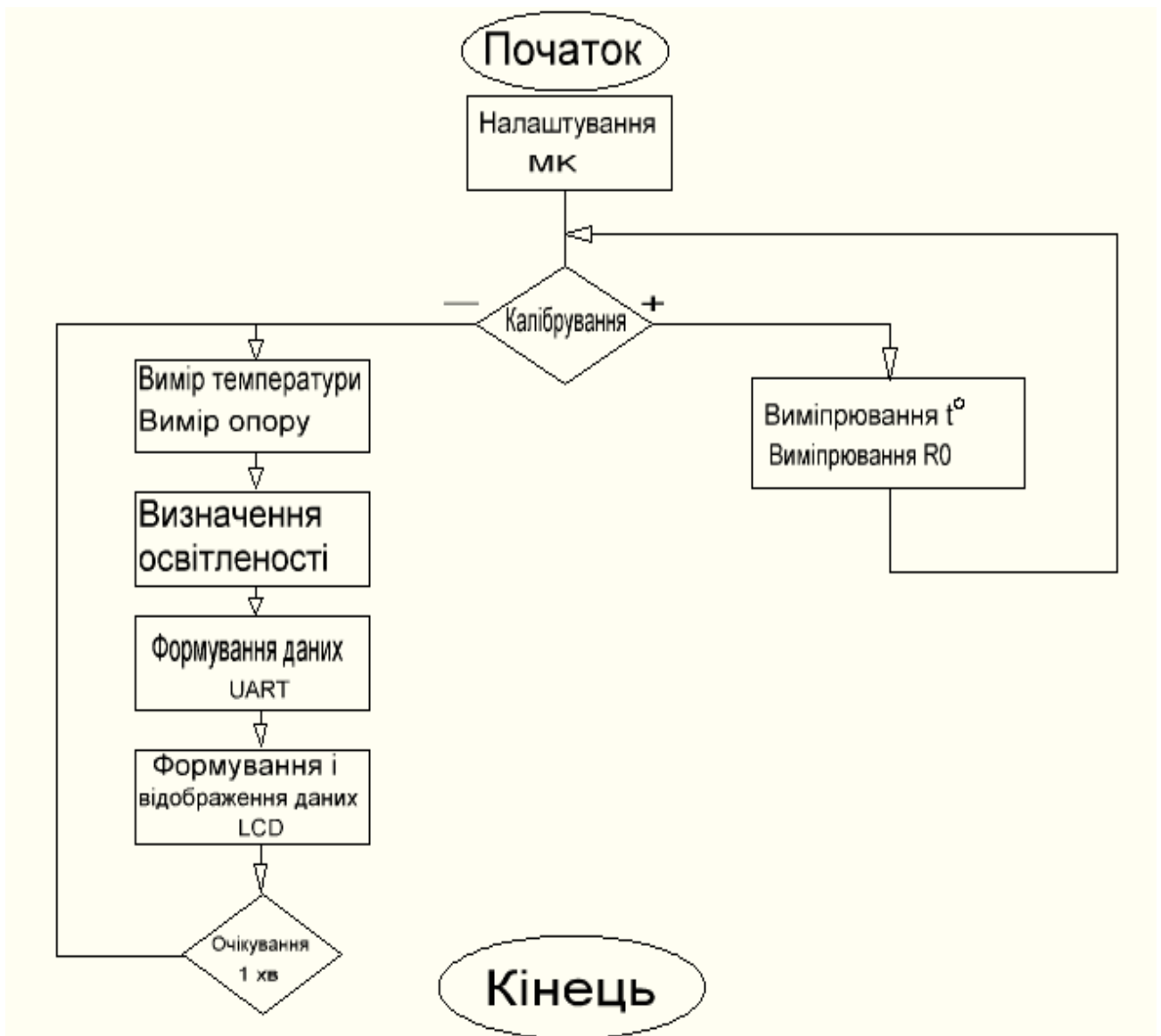


Рис 2.1. Алгоритм роботи пристрою

Для портативного використання даного пристрою він може містити LCD-дисплей. Живлення пристрою повинно бути рівне 5 вольт, що дасть змогу використовувати малогабаритні автономні джерела живлення (наприклад powerbank). Мікроконтролер забезпечує перетворення аналогових сигналів від датчика освітленості та датчика температури в відповідний цифровий код на основі якого здійснюється визначення освітленості. Датчик температури призначений для визначення температури терморезистора. Температура терморезистора визначає величину похибки освітленості згідно характеристик та довідникових даних на фоторезистор надана виробником. LCD-дисплей використовується для індикації величини освітленості для її вимірювання в автономному режимі система калібровки дає можливість визначити початкове значення опору фоторезистора при заданій величині освітленості. В подальшому це початкове значення буде використовуватися для визначення величини освітленості. Мікроконтролер з інтервалом в одну хвилину видає по інтерфейсу UART значення величини освітленості із зазначенням часу який пройшов після включення приладу. Це дасть змогу накопичувати статистичні дані освітленості та подальше їхнє опрацювання

## **2.2. Компонети пристрою**

### **2.2.1. Мікроконтролер PIC16C76**

Пристрій PIC16C76 має 368 байтів оперативної пам'яті. Кожен пристрій має 22 штифти вводу-виводу. Крім того, доступні кілька периферійних функцій, включаючи: три таймери / лічильники, два модулі Cap-ture / Порівняння / ШІМ та два послідовних порти. Синхронний послідовний порт може бути налаштований як а3-провідний послідовний периферійний інтерфейс (SPI) або двопровідна шина Inter-IntegratedCircuit (I2C). Універсальний синхронний асинхронний приймач-передавач (USART) також відомий як інтерфейс послідовного зв'язку або SCI. Також передбачений 5-канальний високошвидкісний 8-бітний А / D. 8-бітна роздільна

здатність ідеально підходить для додатків, що вимагають недорогого аналогового інтерфейсу, наприклад, терморегулятор, зондування тиску тощо.

Характеристики мікроконтролера PIC16C7X:

- Високопродуктивний процесор RISC
- Усі інструкції з одним циклом, за винятком гілок програм, які є двоцикловими
- Робоча швидкість: DC - 20 МГц тактовий вхід DC - 200 нс інструкційний цикл
- До 8К x 14 слів програмної пам'яті, до 368 x 8 байт пам'яті даних (RAM)
- Можливість переривання • Вісім рівнів глибокого апаратного стека
- Режими прямої, непрямой та відносної адресації
- Скидання живлення (POR)
- Таймер включення (PWRT) і таймер запуску генератора (OST)
- Сторожовий таймер (WDT) із власним вбудованим RC-генератором для

надійної роботи

- Програмований захист коду
- Енергозберігаючий режим SLEEP • Вибір параметрів генератора
- Низько швидкісна, високошвидкісна технологія CMOS EPROM
- PIC16C72 • PIC16C74A • PIC16C73 • PIC16C76 • PIC16C73A • PIC16C77 •

PIC16C74

- Широкий діапазон робочої напруги: від 2,5 до 6,0 в
- Високий поглинач / струм джерела 25/25 мА
- Низьке споживання енергії: • <2 мА при 5 В, 4 МГц • 15 мкА типове при 3 В, 32

кГц • <1 мкА

- Універсальний синхронний асинхронний приймач (USART / SCI)
- Паралельний ведений порт (PSP) шириною 8 біт із зовнішніми елементами

керування RD, WR та CS

- Схема виявлення вибуху для скидання викидів (BOR)

Нижче в таблиці ми можемо побачити основні характеристики мікроконтролера

PIC16C76



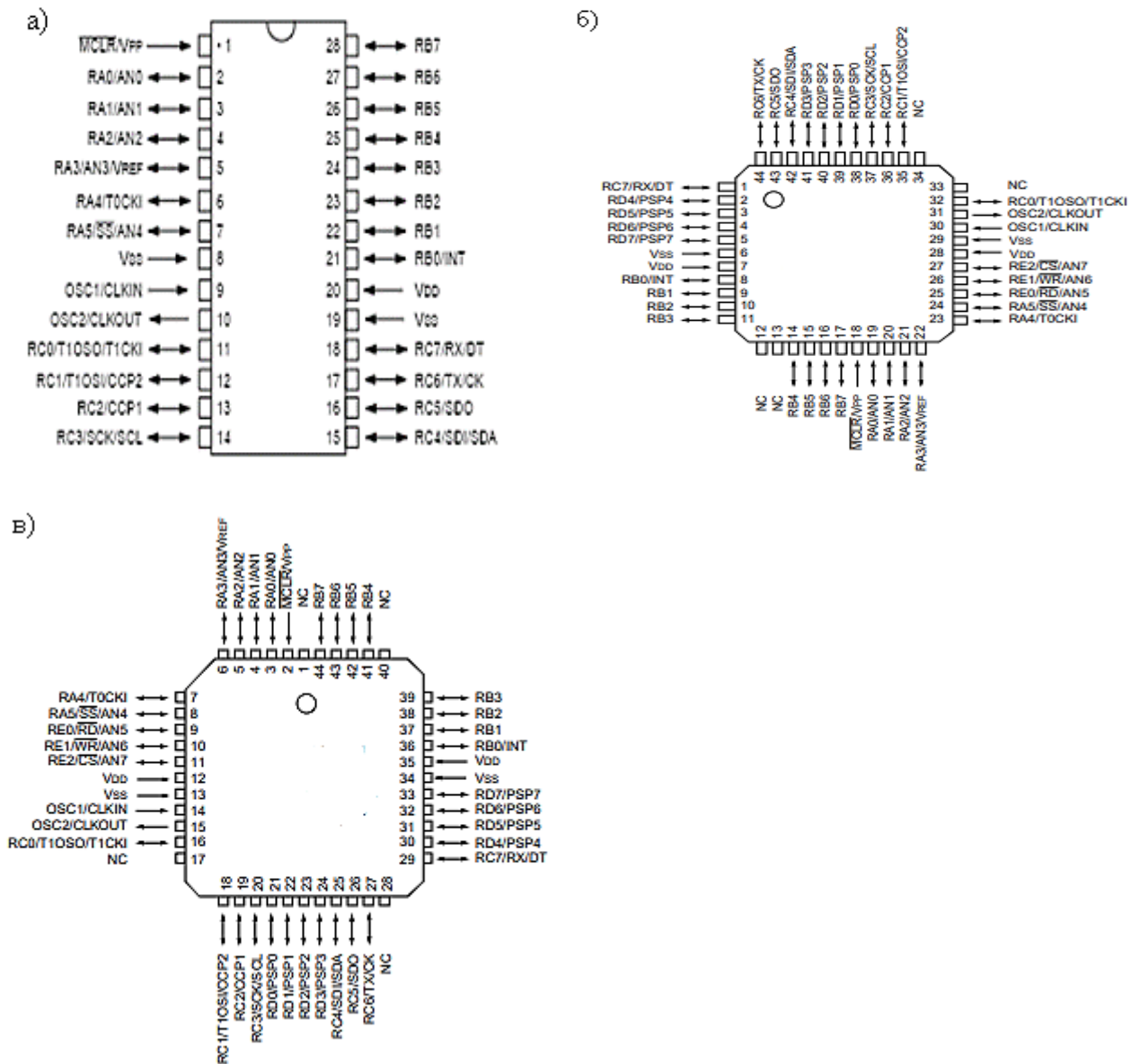


Рис.2.2. Схема мікроконтролера PIC16C76 в різних корпусах

## 2.2.2. Фоторезистор GL3516

Фоторезистор GL3516- це резистор, виготовлений з напівпровідникового матеріалу, і провідність змінюється із зміною освітленості. Фоторезистор широко використовується у багатьох галузях промисловості, таких як іграшки, світильники, фотоапарат тощо.

Особливості мікроконтролера PIC16C76: покритий епоксидною смолою, невеликий обсяг, швидка реакція, хороша надійність, висока чутливість, хороша характеристика спектра

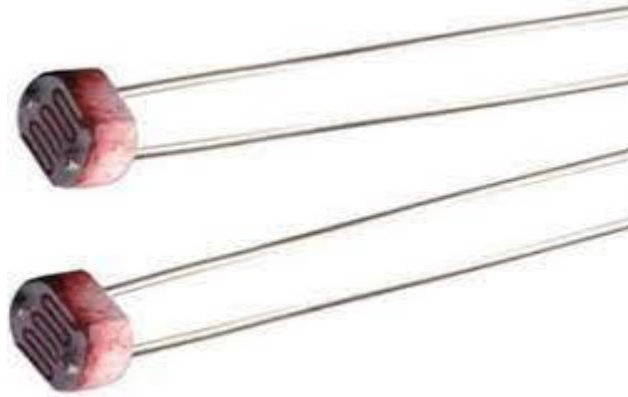


Рис.2.3.Вигляд фоторезистораGL3516

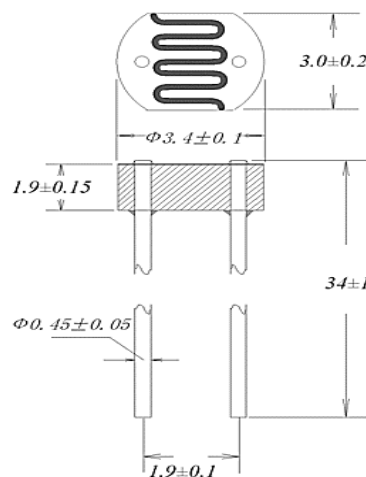


Рис.2.4. розміри фоторезистораGL3516

Виробник рекомендує використовувати в: фотокамера автоматична фотометрія, фотоелектричне управління, внутрішній промінь керування променями, промислове управління, вимикач управління світлом, лампа управління світлом, електронна іграшка.

На рисунках (2.5 і 2.6) наведено характеристики фоторезистора GL3516

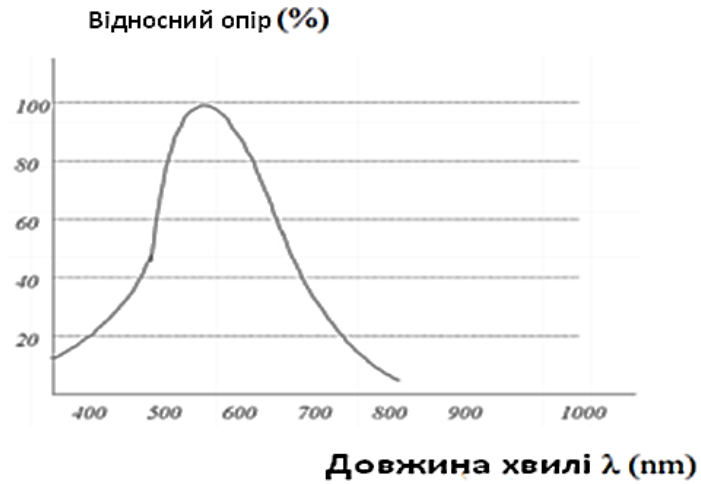


Рис.2.5. Залежність опору від довжини хвилі



Рис.2.6. Залежність опору від температури

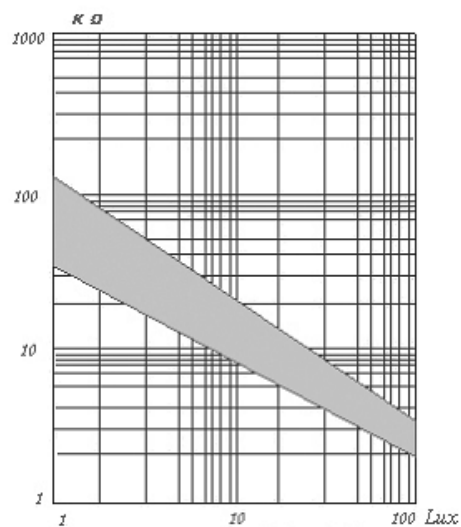


Рис.2.7. Графік характеристик опору освітленості

Виробник визначає наступні умови випробування:

Макс. зовнішня напруга: максимальна напруга, яка повинна постійно подаватися компоненту в темряві.

Макс. споживання енергії: максимальна потужність при температурі навколишнього середовища 25 °С.

Світлостійкість: опромінюється 400-600Лк світлом протягом двох годин, потім випробуйте 10лк підстандартне джерело світла А (як колірна температура 2856К).

Значення  $\gamma$ : логарифм співвідношення стандартного значення опору під 10лк та значення під 100лк.

$$\gamma = \text{Lg}(R_{10}/R_{100})/\text{Lg}(100/10) = \text{Lg}(R_{10}/R_{100})$$

R10, R100 - це опори відповідно до 10лк та 100лк.

Фоторезистор GL3515 виготовлений на основі напівпровідникового матеріалу CdS. Максимальна чутливість визначається на довжині хвилі 540 нм. Електричні характеристики представлені в формі таблиці (табл. 2.1.):

Електричні характеристики фоторезистора GL3515 Таблица 2.1.

Model	Vmax (VDC)	Pmax (mW)	Ambient temp(°C)	Spectral peak (nm)	Light Resistance at 10Lux (K $\Omega$ )	Dark Resistance (M $\Omega$ )	Gamma value at 100-10Lux	Response Time (ms)	
								Rise Time	Decay time
GL3516	150	100	-30~+70	540	5-10	0.5	0.6	20	30

### 2.2.3. Термістор MF52

Термістор серії MF52 представляють собою резистор з негативним коефіцієнтом опору, тобто при збільшенні температури навколишнього середовища опір термістора зменшується. Часто використовується як датчик температури. Можливе застосування кондиціонери повітря, нагрівальні прилади, електричні термометри, датчики рівня рідини, автомобільна електрика, акумулятори мобільних телефонів і т.д.



Рис.2.8. Термістор MF52

Для лінеризації залежності опору від температури слід скористатися формулою визначення коефіцієнта термоелектричної чутливості транзистора

$$B = \ln \frac{R_{T1}}{R_{T2}} / \left( \frac{1}{T_1} - \frac{1}{T_2} \right) = \frac{T_1 T_2}{T_2 - T_1} \ln \frac{R_{T1}}{R_{T2}}$$

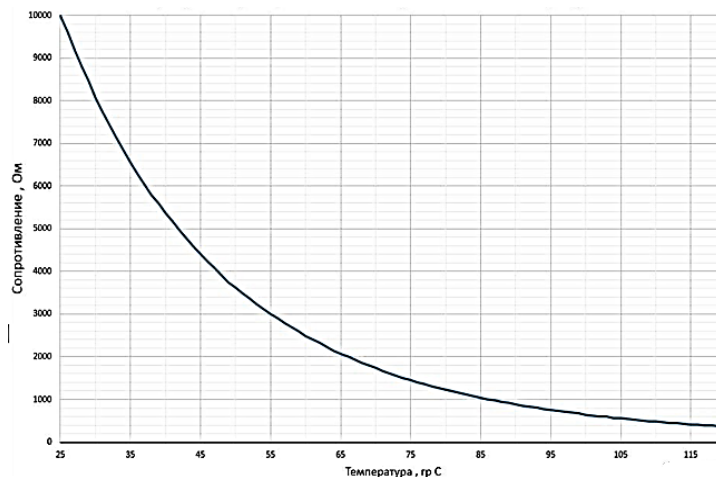


Рис.2.9.Залежність опору від температури

Терморезистор MF52-104 представляють собою резистори із від'ємним коефіцієнтом опору. Вони є аналогами NTC термісторів серії SCK. Терморезистори серії MF52 мають форму бусинок та покриттів епоксидною смолою. Невеликі розміри термісторів NTC серії MF52 забезпечують малі допустимі відхилення номіналів та швидкий відклик на зміну температури. MF52-104B4250 має наступні характеристики (табл. 2.2.)

Характеристики термістора MF52-104B4250 Таблиця 2.2.

Опір, кОм при 25 °С	Допустиме відхилення, %	Константа	Постійна $\beta$	Час спрацювання, с	Температурн ий діапазон, °С	Розсіювальна потужність, мВт
100	5	4250	3950	20	-40 - + 150	50

### 2.3 Проектування та опис принципової електричної схеми пристрою

Принципова електрична схема (рис.2.10) пристрою розроблена згідно мети даної дипломної роботи та алгоритму функціонування(див. попередній параграф).

Терморезистор RT1 використовується для визначення температури середовища в якому працює фоторезистор RF1. Обидва резистори утворюють з резисторами R1 і R4 відповідно ділянки напруги, номінал резистора R1 10 кОм, номінал резистора R4 100 кОм вибрані із розрахунку рівності відповідно до номіналів терморезистора RT1 і фоторезистора RF1 це дає змогу забезпечити робочий діапазон виміру аналого-цифрового перетворювача мікроконтролера в межах: 0x1FF - 0x3FF. Фоторезистор і терморезистор здебільшого працюють в області підвищеної освітленості та підвищеної температури в порівнянні із початковими умовами. Це означає, що їх номінальні опори будуть зменшуватися. Підключення даних напівпровідникових резисторів у верхній частині ділянки напруг забезпечує умову більш швидкої зарядки конденсатора вибірки блоку аналого-цифрового перетворювача мікроконтролера PIC16C76. Резистори R2 та R3 є запобіжними а їх номінал узгоджується з вхідним опором блоку аналого-цифрового перетворювача мікроконтролера. Конденсатори C1 і C3 фільтрують високо частотні завади, що можуть виникнути під час роботи пристрою.

Управління роботою LCD-дисплея відбувається за допомогою цифрового коду на виводах порту вводу/виводу RB. Виводи RB4-RB7 використовуються для передачі чотирьох розрядних даних. Виводи RB1-RB3 використовуються для передачі кодів управління дисплеєм. Вивід даних по UART інтерфейсу здійснюється по шині RX-TX. Вимикач S2 використовується для переходу мікроконтролера в режим калібрування фоторезистора RF1.

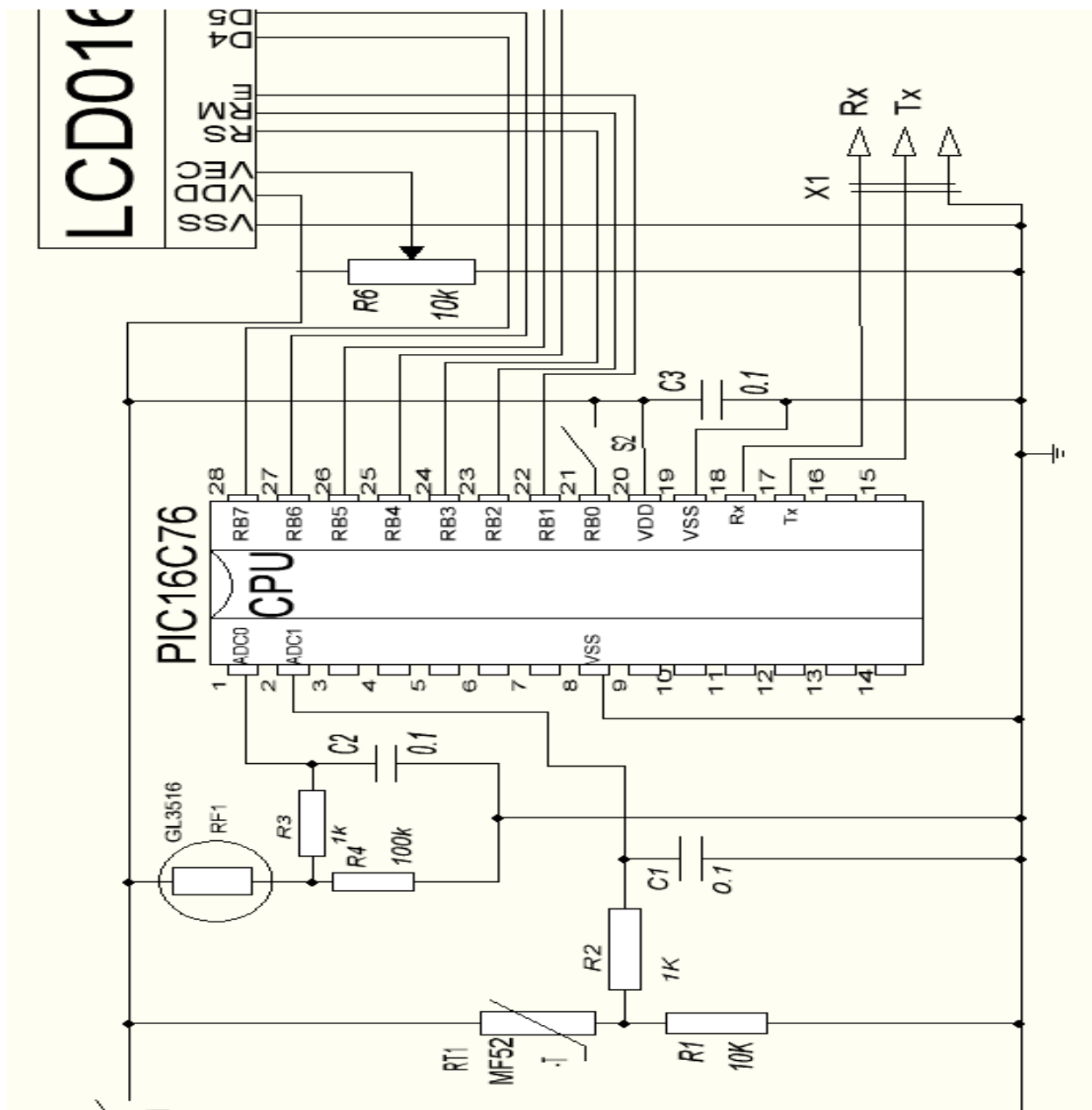


Рис.2.10.Електрично-принципова схема

## 2.4.Алгоритм функціонування вбудованого програмного забезпечення.

Алгоритм функціонування вбудованого програмного забезпечення (рис.2.11) повинно відповідати вимогам алгоритму функціонування пристрою.

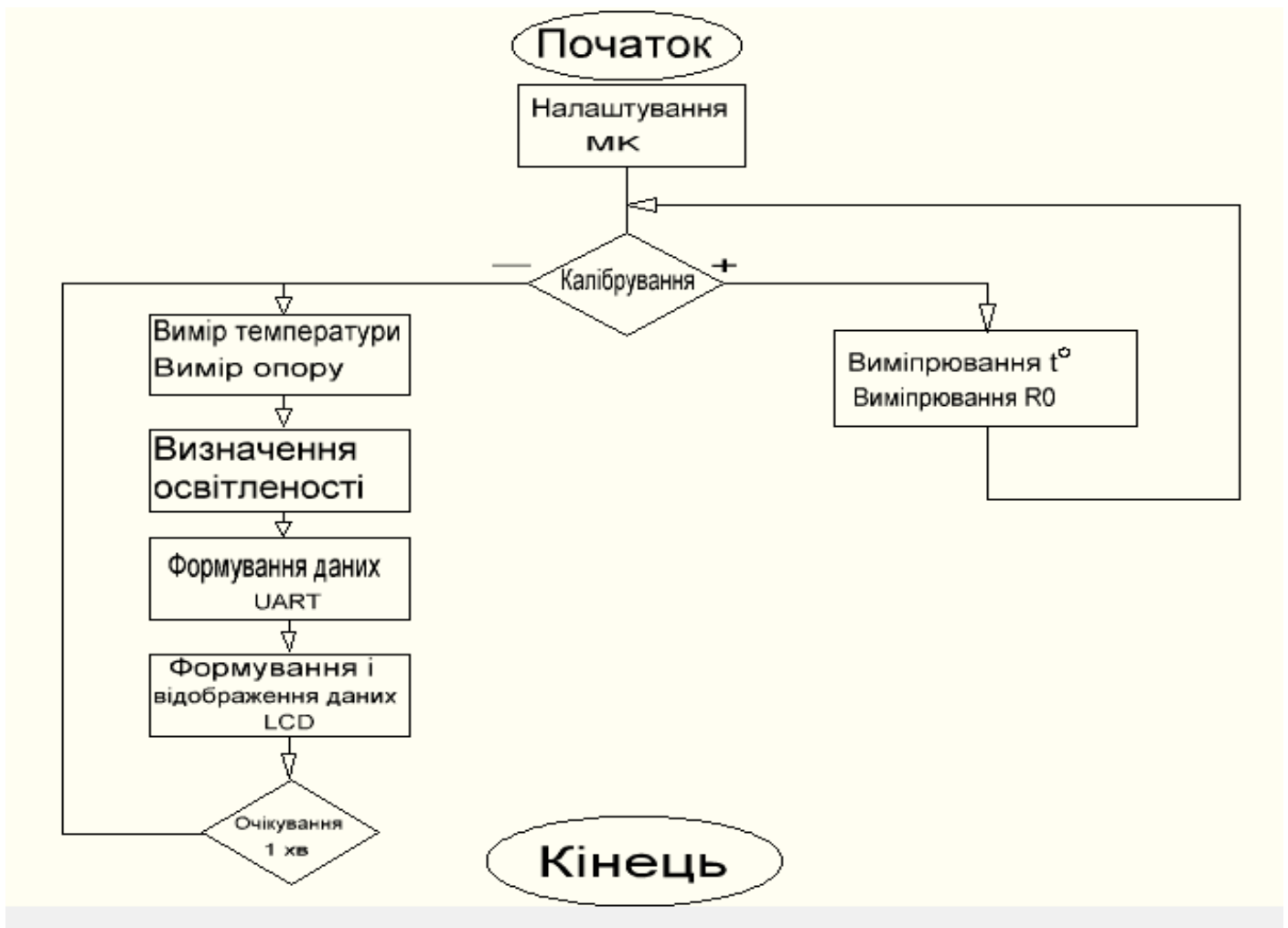


Рис.2.11. Алгоритм програмного забезпечення

Після включення живлення вблоці «налаштування МК» програма повинна здійснити: налаштування таймера T1 який використовується для обрахунку часових інтервалів; 1)налаштування блоку UART, о включає в себе налаштування відповідних виводів МК на вхід і на вихід; задання швидкості передачі даних; налаштування виводів порту RP повинно відповідати наступним умовам RB1-RB7 виходи RB0-вхід.



Режим роботи АЦП повинен відповідати наступним умовам десяти розрядне перетворення, а виводи 1 і 2 повинні працювати як аналогові входи, тому що на канали аналого-цифрових перетворювачі які будуть під'єднані до даних виводів мікросхеми подається сигнал з датчиків освітленості і температури. Умовний блок часової затримки на 10 секунд повинен дати змогу користувачеві вибрати за необхідністю режим калібрування фоторезистора.

Основний режим роботи програмного забезпечення є цикл вимірювань, розрахунку та передачу даних з інтервалом 1 хвилину. В робочому циклі здійснюється вимір значення напруги з резисторів R1 та R4 з подальшим перетворення у відповідно десяти розрядний двійковий код. На основі даних значень з відповідних масивів даних визначається значення температури та освітленості.

Після визначення величини освітленості відбувається формування даних для передачі в UART. Всі величини повинні передаватися в десятковій системі числення згідно кодування ASCII згідно наступного формату :

Таблиця 2.3 Формування даних для передачі в UART.

«освітлення»	значення	час після виключення	значення
--------------	----------	-------------------------	----------

В наступному блоці відбувається формування величини освітлюваності на LCD-дисплей.

Даний цикл повторюється після однохвилинного очікування.

## 2.5. Моделювання роботи та випробування пристрою

Моделювання роботи розробленої нами схеми відбувалися в середовищі моделювання Proteus була зібрана схема (рис.2.12)

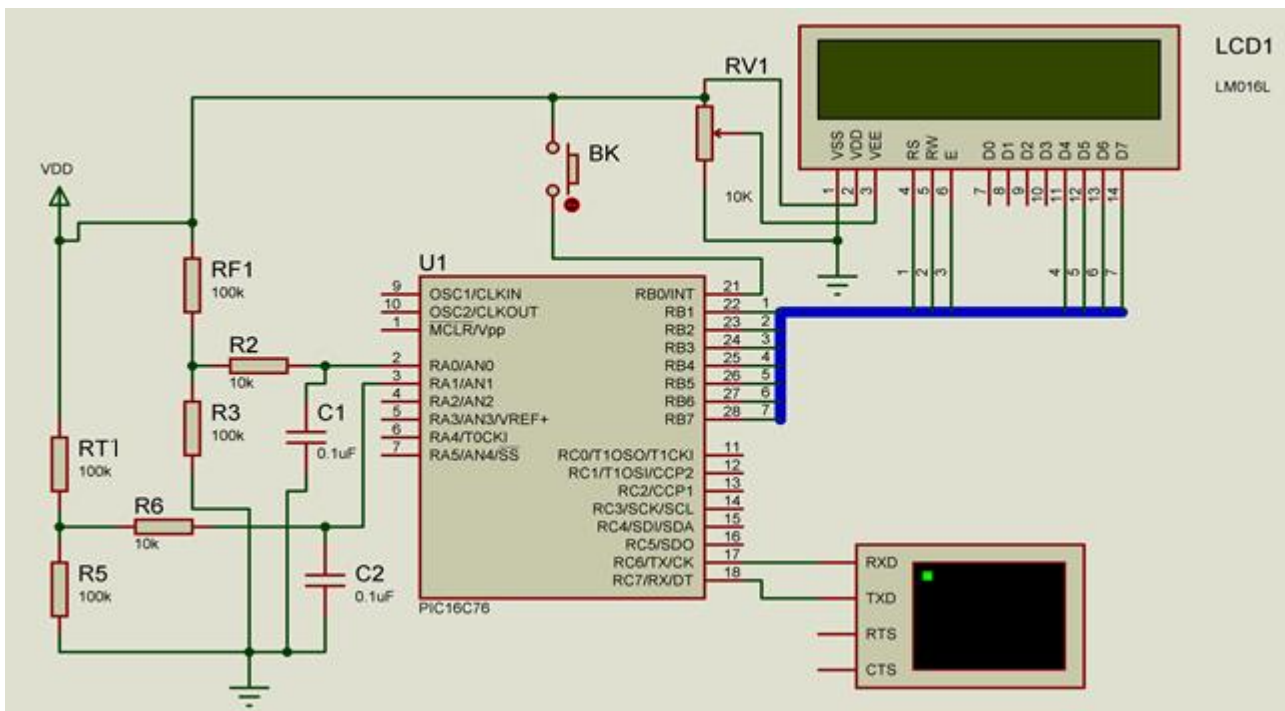


Рис.2.12.Схема у Proteus

Середовище моделювання proteusдозволяє відслідковувати роботу складових пристроїв так і цілої системи окремо відпрацьовувалося налагодження кожного каналу АЦП із відповідних перетворювачів шляхом задачі певних значень для резисторів RF іRT. Опрацьовувалися режими роботи портів вводу/виводу. Визначалося попередні розрахунки для режиму роботи UART та LCD-дисплею.

## **Висновок**

В результаті виконання роботи було:

- 1) Розроблено алгоритм функціонування пристрою
- 2) Розраховано та створено електричну принципову схему
- 3) Розроблено алгоритм програмного забезпечення для мікроконтролера
- 4) Промодельовано функціонування приладу в середовищі Proteus

