

Тернопільський національний технічний
університет імені Івана Пулюя

Кафедра автоматизації
технологічних процесів
і виробництв

Лабораторна робота № 18
з курсу
”Проектування систем
автоматизації”

Автоматизована система
контролю освітленості на базі
Arduino

Тернопіль 2017

Методичні вказівки до лабораторної роботи № 18 “Автоматизована система контролю освітленості на базі Arduino” з курсу "Проектування систем автоматизації". Шкодзінський О.К., Пісьціо В.П., Медвідь В.Р., Станько А.А. Тернопіль: ТНТУ, 2017 - 13 с.

Для студентів напряму: 6.050202 "Автоматизоване управління технологічними процесами"

Автори: Шкодзінський О.К., Пісьціо В.П., Медвідь В.Р., Станько А.А.

Методичні вказівки розглянуті, схвалені і затверджені на засіданні кафедри автоматизації технологічних процесів і виробництв (протокол № 4 від 21 листопада 2016 року).

Тема роботи.

Автоматизована система контролю освітленості на базі Arduino.

Мета роботи

Ознайомитись із реалізацією автоматизованої системи контролю освітленості на базі Arduino.

Опис потрібних властивостей системи

Система має забезпечити контроль освітленості у межах робочої зони системи. У випадку коли освітленість менше заданого порогу за допомогою спеціального реле чи контактора має включатись додаткове освітлення у випадку наявності у робочій зоні сторонніх предметів чи людей.

Давачі освітленості на основі фоторезисторів

Як відомо, фоторезистор – це напівпровідниковий резистор, опір якого залежить від освітленості. Основним елементом фоторезистора є напівпровідниковий світлочутливий шар напівпровідника, який може бути виконаний у вигляді монокристалічної або полікристалічної пластини напівпровідника або у вигляді полікристалічної плівки, яка нанесена на діелектричну основу. В якості напівпровідникового матеріалу для фоторезисторів найчастіше використовують сульфід кадмію, селенід кадмію або сульфід свинцю. У видимій області оптичного діапазону в якості матеріалу чутливого елемента фоторезисторів використовують сульфід кадмію CdS і селенід кадмію CdSe. При довжині хвилі 1 ... 5 мкм застосовують сульфід і селенід свинцю (PbS та PbSe).

На поверхню світлочутливого шару наносять металічні електроди. Іноді електроди наносять безпосередньо на діелектричну основу перед осадженням напівпровідникового шару.

Поверхню напівпровідникового світлочутливого шару, який розташований між електродами називають, називають робочою площадкою. Фоторезистори виготовляють з робочими площадками у вигляді прямокутників, меандрів та кілець. Площа робочих площадок різних фото резисторів найчастіше складає від десятих частин до десятків квадратних міліметрів.

Пластину з нанесеною на неї напівпровідниковим світлочутливим шаром або пластину напівпровідника розміщують в пластмасовий або металічний корпус. Навпроти робочої площадки роблять вікно з прозорого матеріалу.

При поглинання напівпровідником квантів світла – фотонів їх енергія передається електронам в валентній зоні, які під дією цієї енергії можуть переходити в зону провідності. Значить енергія квантів іде на іонізацію атомів. Чим більше квантів світла падає на напівпровідник, тим більша кількість електронів переходить з валентної зони в зону провідності, а тому опір напівпровідника падає, а провідність ,відповідно зростає.

Із принципу дії випливає, що на відміну від інших пристроїв контролю освітлення фоторезистори не чутливі до полярності прикладеної напруги і її виду.

Типовими характеристиками фоторезисторів є наступні:

- ◇ Опір при максимальному освітленні: 10-20 кОм
- ◇ Опір у темноті : 1 МОм
- ◇ Час реакції: коло 30 мкс
- ◇ Максимальна напруга : 150 В
- ◇ Максимальна розсіювана потужність : 100 мВт
- ◇ Робоча температура: -30 - +70 ° С

У загальному провідність фоторезистора ρ_{Φ} може бути представлена залежністю

$$\rho_{\Phi} = \rho_{\tau} + C \Phi^{\alpha}$$

де ρ_{τ} - провідність фоторезистора у темноті, Φ - світловий потік на активному елементі фоторезистора, α - показник степені (у багатьох випадках можна вважати що він близький до 1), C - коефіцієнт пропорційності. Звідки опір фоторезистора R_{Φ} може бути визначений за наступним співвідношенням.

$$R_{\Phi} = \frac{R_{\tau} C \Phi^{-\alpha}}{R_{\tau} + C \Phi^{-\alpha}}$$

Де R_{τ} - опір фоторезистора у темряві.

Залежність R_{τ} від температури фоторезистора T зображена на рис. 1. Підвищення

температури збільшує число носіїв, що призводить до зменшення темного опору.

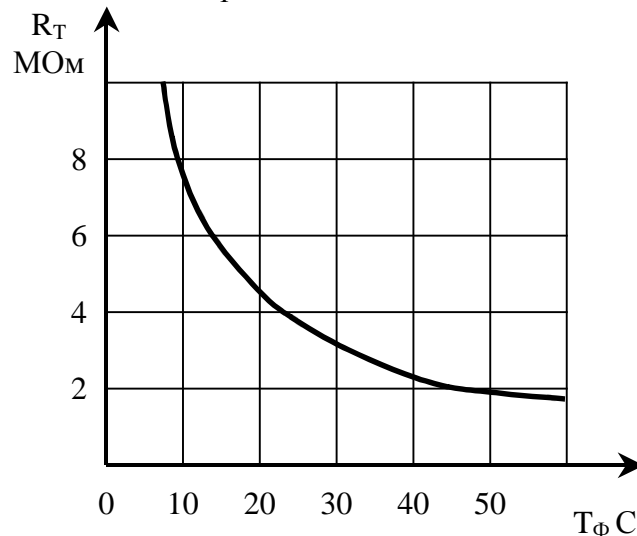


Рис. 1 Залежність темного вихідного опору фоторезистора від температури

Схеми включення фоторезисторів наведені на рис. 2. Схеми володіють різними залежностями вихідної напруги від освітленості. Легко бачити, що вихідна напруга схеми на рис. 2а визначається за співвідношенням

$$V_{Out} = \frac{R_T V_{cc}}{R_1 + R_T + \frac{R_1 R_T \Phi^\alpha}{C}}$$

Вихідна напруга схеми рис. 2 б визначається співвідношенням

$$V_{Out} = \frac{(C + \Phi^\alpha R_T) V_{cc}}{C (R_1 + R_T) + R_1 R_T}$$

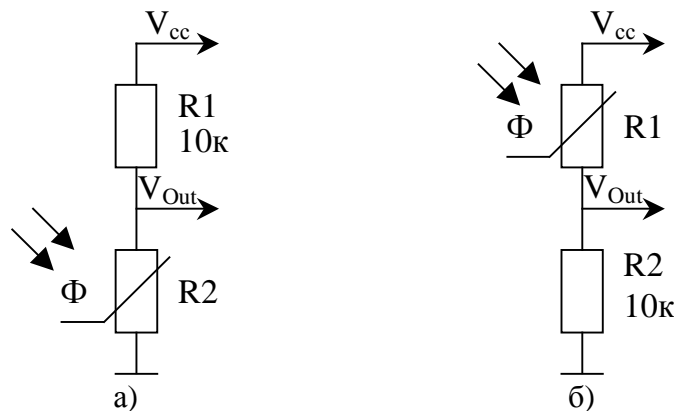


Рис. 2. Типові схеми включення фоторезисторів

а) пряма, б) зворотна

Підключення фоторезисторів до Arduino дуже просте. Для використання фоторезисторів достатньо подати на схему з рис. 2 напругу живлення, зчитувати напругу із лінії V_{Out} через аналоговий вхід і за нею визначати рівень освітленості об'єкта.

Давачі освітленості на основі фотодіодів

Фотодіод - фоточутливий напівпровідниковий діод з рп переходом (між двома типами напівпровідника або між напівпровідником і металом). При освітлені рп переходу в ньому виникають електронно-діркові пари. Напрямок струму цих носіїв збігається з напрямком зворотного струму переходу.

Фотодіоди використовують в фотодіодному та фото-гальванічному режимах. У першому випадку діод зміщується в зворотному напрямку і струм приблизно пропорційний освітленості. У другому випадку прилад працює в режимі генерації фото-ЕРС. У порівнянні з фотогальванічним фотодіодний режим має низку переваг: малу інерційність, підвищену чутливість до довгохвильової частини оптичного спектру, широким динамічним діапазоном лінійності характеристик. Основний недолік цього режиму - наявність шумового струму, що протікає через навантаження. У ряді випадків при необхідності забезпечення низького рівня

шуму фотоприймача фотогальванічний режим може виявитися більш вигідним, ніж фотодіодний.

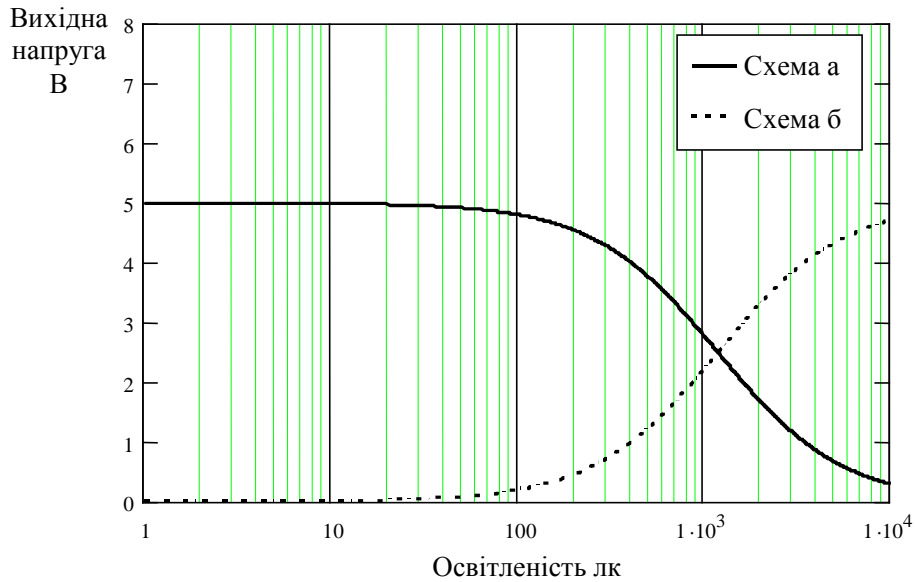


Рис. 3. Типові залежності вихідної напруги схем включення фоторезисторів а) пряма схема (рис. 2 а), б) зворотна (рис. 2 б)

Вольт-амперні характеристики фотодіода в квадранті I (рис. 4) відповідають включенню в прямому напрямку. Квадрант II відображає роботу діода в фотогальванічному режимі. Квадрант III характеризує включення приладу в фотодіодному режимі. На рисунку: $U_{пр}$ - напруга електричного пробую фотодіода, напруга U_p - робоча напруга.

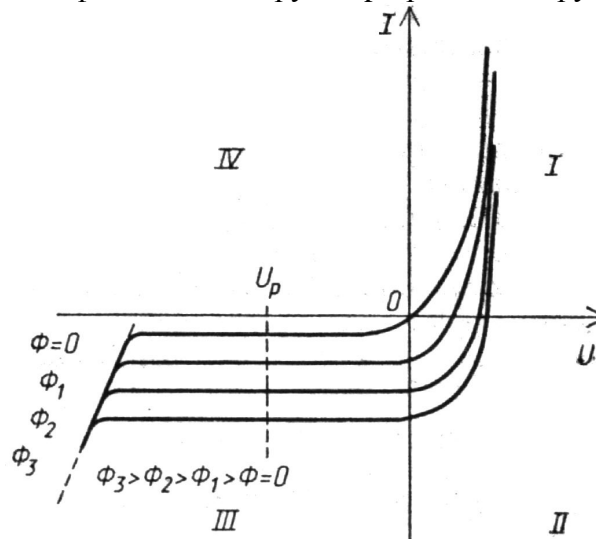


Рис. 4. Вольт-амперні характеристики фотодіода

Насичення германієвих фотодіодів в фотодіодному режимі відбувається при інтенсивності опромінення в тисячі - десятки тисяч люкс. Світлові характеристики кремнієвих діодів лінійні до інтенсивності, що перевищує сотні тисяч люкс. Насичення приладу в фотогальванічному режимі настає при менших умовах освітленості, ніж в фотодіодному.

Без врахування насичення, вольт-амперна характеристика фотодіода може бути записана у вигляді:

$$I = I_0 \left(1 - \exp\left(-\frac{U}{\phi_T}\right) \right) + C \Phi$$

У фотодіодному режимі (рис. 5 а) так як напруга U прикладена до фотодіода велика порівняно із тепловим потенціалом ϕ_T , то складовою із експонентою можна нехтувати і вихідна напруга може бути визначена як:

$$U_R = C R_1 \Phi + R_1 I_0$$

Таким чином, у даному режимі роботи, вихідна напруга давача наближено пропорційна освітленості.

Легко бачити, що у фотогенераторному режимі роботи (рис. 5 б) якщо струм через зовнішнє коло не тече:

$$I_0 \left(1 - \exp\left(\frac{V_{Out}}{\varphi_T}\right) \right) + C \Phi = 0$$

і вихідна напруга дорівнює:

$$V_{Out} = \varphi_T \ln\left(\frac{C \Phi + \varphi_T}{\varphi_T}\right) \text{ або наближено } V_{Out} = \varphi_T \ln\left(\frac{C}{\varphi_T} \Phi\right).$$

Тобто вихідна напруга пропорційна логарифму освітленості.

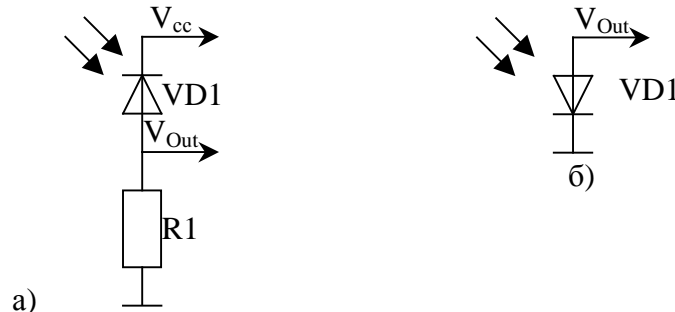


Рис. 5. Типові схеми включення фотодіодів а) фотодіодний режим, б) фотогенераторний режим

Фрагмент програми, що контролює рівень освітленості об'єкта і залежно від рівня вмикає світлодіод наведено нижче.

```
int led = 13; //змінна з номером піну світлодіоду
int ldr = 0; //змінна з номером піну фоторезистора
void setup() //процедура setup
{
  pinMode(led, OUTPUT); //вказуємо, що світлодіод - вихід
}
void loop() //процедура loop
{
  if (analogRead(ldr) < 800) digitalWrite(led, HIGH);
  //якщо показник освітленості менше 800, вмикаємо світлодіод
  else digitalWrite(led, LOW); //в іншому випадку вимикаємо
  ...
}
```

У випадку необхідності, у програму легко додати функцію перерахунку відносного показника освітленості у освітленість, керуючись вищенаведеними формулами залежно від схеми включення використаних датчиків.

Датчик присутності на основі HC-SR04

Для визначення наявності рухомих об'єктів або перешкод можна використовувати датчик відстані до перешкоди на основі ультразвукового сонару HC-SR04.



Рис. 6. Безконтактний направлений датчик HC-SR04.

Безконтактний направлений датчик HC-SR04 використовує ультразвукові хвилі, і

вимірює відстань до об'єкта або просто виявляє перешкоду на шляху. На платі модуля розміщені пьезовипромінювач ультразвуку та мікрофон, що сприймає відбиту хвилю. На відміну від інфрачервоних далекомірів, на ультразвуковий датчик HC-SR04 не впливають джерела світла або колір і температура перешкоди. Проте можуть виникнути труднощі при визначенні відстані до м'яких або тонких об'єктів. Також недоліком датчика є залежність швидкості звуку у повітрі від температури, проте її можна, у випадку необхідності, легко компенсувати.

Основні характеристики давача є наступними:

- ◇ Напруга живлення 5 В
- ◇ Струм споживання у режимі очікування до 2 мА
- ◇ Струм споживання у режимі роботи - 15 мА
- ◇ Частота ультразвуку, що випромінюється - 40 кГц
- ◇ робочий кут - 15 градусів
- ◇ Відстань, що вимірюється:
- ◇ від 0,03 до 0,6 м з роздільною здатністю 3 мм
- ◇ від 0,6 до 5 м роздільна здатність не нормована

Модуль має наступні виводи

- ◇ VCC - живлення (5В).
- ◇ GND - загальний вивід.
- ◇ Trig - цифровий вхід запуску вимірювань. На вхід достатньо подати позитивний перепад і логічну одиницю тривалістю від 1 до 10 мкс для запуску вимірювань. Тривалість логічної одиниці ні як не впливає на точність вимірювань.
- ◇ Echo - вихідний сигнал, тривалість одиничного стану на лінії рівна часу, що потрібен звуку для досягнення перешкоди, відбиття та повернення назад. Тобто тривалість одиничного стану пропорційна відстані до об'єкта.

Принцип дії

Давач посилає ультразвукові імпульси і слухає відлуння (рис. 7). На вхід Trig давача подається імпульс високого рівня тривалістю 1-15 мікросекунд. За цим сигналом давач посилає ультразвуковий сигнал "chirp" з восьми коротких імпульсів частотою вище межі діапазон слуху людини (40 кГц) і очікує відбиття та повернення виданого сигналу. Вимірюючи час між відправленим і прийнятим ультразвуком, датчик HC-SR04 формує вихідний сигнал. Через приблизно мікросекунду ультразвуковий датчик HC-SR04 видає на виході Echo імпульс високого рівня тривалістю до 38 мілісекунд. Якщо перешкод не виявлено, то на виході буде сигнал з тривалістю 38 мс.

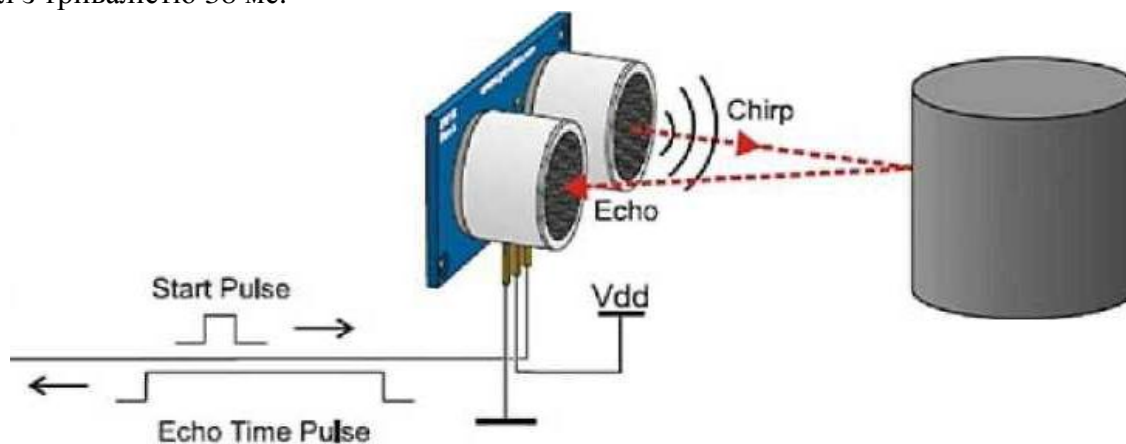


Рис. 7. Робота давача

Давач побудований на основі мікроконтролера EM78P153S, що працює на частоті 27 МГц. Схема давача (рис. 10) має два однакових перетворювача: один для випромінювання і один для прийому ультразвукових сигналів. Для передачі ультразвукових імпульсів використовується мікросхема MAX232. Перетворювач підключається між двома її виходами, так що амплітуда напруги на вході перетворювача становить 20 В. Живлення до мікросхеми підключається лише на час перетворення. Коли схема переходить в режим прийому мікросхема знаходиться у відключеному стані. Приймач сигналів побудований на основі операційного

підсилювача LM324.

На основі U2D (DD1.4) побудовано підсилювач із коефіцієнтом підсилення 6. U2C - складає основу полосового фільтра, а його вихідний сигнал потім ще підсилюється мікросхемою U2B у 8 разів. Підсилювач U2A використовується разом з Q1 в якості компаратора із гістерезисом.

Після того, як поступає вхідний сигнал запуску контролер давача вмикає живлення MAX232. Після чого очікує 250 мкс, і видає 8 імпульсів частотою 40 кГц і потім видає на лінію Echo логічну одиницю. Протягом видачі імпульсів вхід компаратора також підтримується у виключеному стані, щоб запобігти будь-яким паразитним сигналам, що можуть надійти на приймач. Далі схема переходить очікування відбитого сигналу. Як тільки перший імпульс виявлений в приймачі сигнал Echo скидається і можна визначати ширину відбитого імпульсу для обчислення відстані. Таким чином, для роботи з датчиком від електроніки приладу потрібно один цифровий керуючий вихід (Trig) і один вхід для сигналу датчика (Echo).

Часові діаграми роботи датчика наведені на рис. 8.

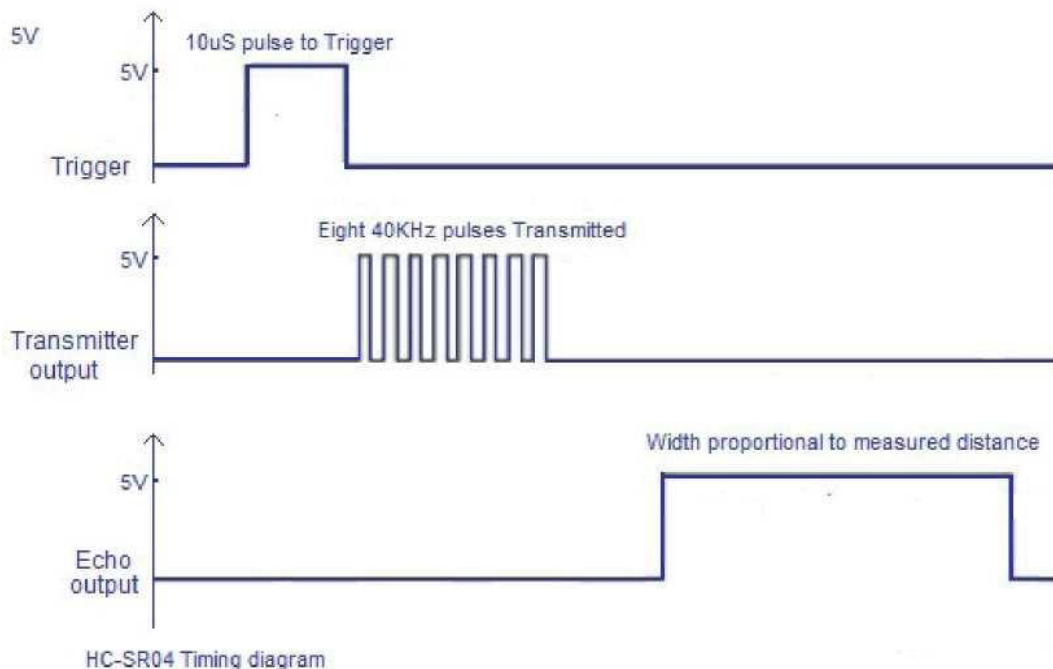


Рис. 8. Часові діаграми роботи давача

Довжина імпульсу на виході Echo пропорційна відстані до перешкоди. І відстань обчислюється за формулою:

$$S = \frac{F}{5.8}$$

де S - відстань у міліметрах, F - тривалість імпульсу у мікросекундах.

Для визначення тривалості імпульсу на вході Arduino можна використовувати функцію pulseIn.

Синтаксис функції наступний

pulseIn(pin, value)

pulseIn(pin, value, timeout)

Параметри функції наступні

- ◇ pin: номер виводу, з котрого необхідно зчитати тривалість імпульсу int.
- ◇ value: тип імпульсу, що очікується: HIGH чи LOW (int)
- ◇ timeout час очікування імпульсу в мікросекундах; значення за замовчуванням - 1 секунда

Функція повертає значення тривалості імпульсу в мікросекундах або 0 у випадку відсутності імпульсу на протязі часу вимірювання (unsigned long).

Фрагмент програми, що зчитує значення з давача положення наведений нижче

```
const byte echoPin = 6; //задаємо значення вхідного
const byte trigPin = 9; // та вихідного контактів
```



```

unsigned long SonarRead()
{
  //функція зчитування даних із роботи з давача
  delayMicroseconds(1); //очікуємо 1 мс
  digitalWrite(trigPin, HIGH); //видаємо на лінію trigPin 1
  delayMicroseconds(1); //очікуємо 1 мс
  digitalWrite(trigPin, LOW); //видаємо на лінію trigPin 0
  unsigned long F = pulseIn(echoPin, HIGH, 5800*5);
  //зчитуємо значення тривалості імпульсу
  //так як немає потреби контролювати відстань більшу
  //ніж 5 м навколо датчика тайм-аут обраний на рівні 5 м
  if(F == 0) // перевіряємо pulseIn на тайм-аут і інші проблеми
    {F = 5800*5;}
  // якщо надійшло нульове значення - замінюємо його на
  // максимально можливе
  return F;
}
//підпрограма підготовки
void setup() {
  pinMode(trigPin, OUTPUT);
  pinMode(echoPin, INPUT);
  digitalWrite(trigPin, LOW); //видаємо на лінію trigPin 0
  // щоб підготувати давач до роботи
  // якщо лінія trigPin використовується для запуску іншого
  // обладнання початкове встановлення лінії у нуль можна
  // проводити у функції SonarRead
  ...
}
  unsigned long mm;
void loop() {
  //основний цикл роботи
  mm = 0;
  //обчислюємо середнє значення 5 вимірювань
  for(byte i = 0; i < 5; i++)
    mm = mm + SonarRead();
  mm = mm / 5; //константа 5 це 5.8 * 5
  Serial.print(cm); //використовуємо отриману відстань,
  //виводимо її на послідовний порт
  Serial.println(" mm");
  ...
}

```

Алгоритм роботи системи контролю освітленості.

Перейдемо до опису алгоритму роботи системи контролю освітленості, що наведений на наступному рисунку.

Алгоритм функції початково встановлення системи зображений на рис. 9 а дуже простий і не потребує пояснень.

Основний цикл роботи системи контролю освітленості починається із визначення рівня освітлення у контрольованому середовищі за допомогою відповідного давача освітлення. Подальша робота схеми залежить від того чи було ввімкнено освітлення у попередній момент. Якщо освітлення було ввімкнене, то значення рівня освітлення порівнюється із значенням Off, у протилежному випадку - із значенням On. Таке розділення порогів дозволяє уникнути багатократних переключень системи освітлення у випадку коли рівень освітленості близький до рівня переключення.

Якщо рівень освітлення більший за відповідний поріг відключення алгоритм переводить освітлення у виключений стан, або залишає світло вимкнутим.

Якщо рівень освітлення менший за відповідний поріг, то здійснюється контроль наявності робітників чи перешкод у контрольованому середовищі. Якщо перешкод і робітників немає світло переводиться у виключений стан, а якщо - є вмикається.

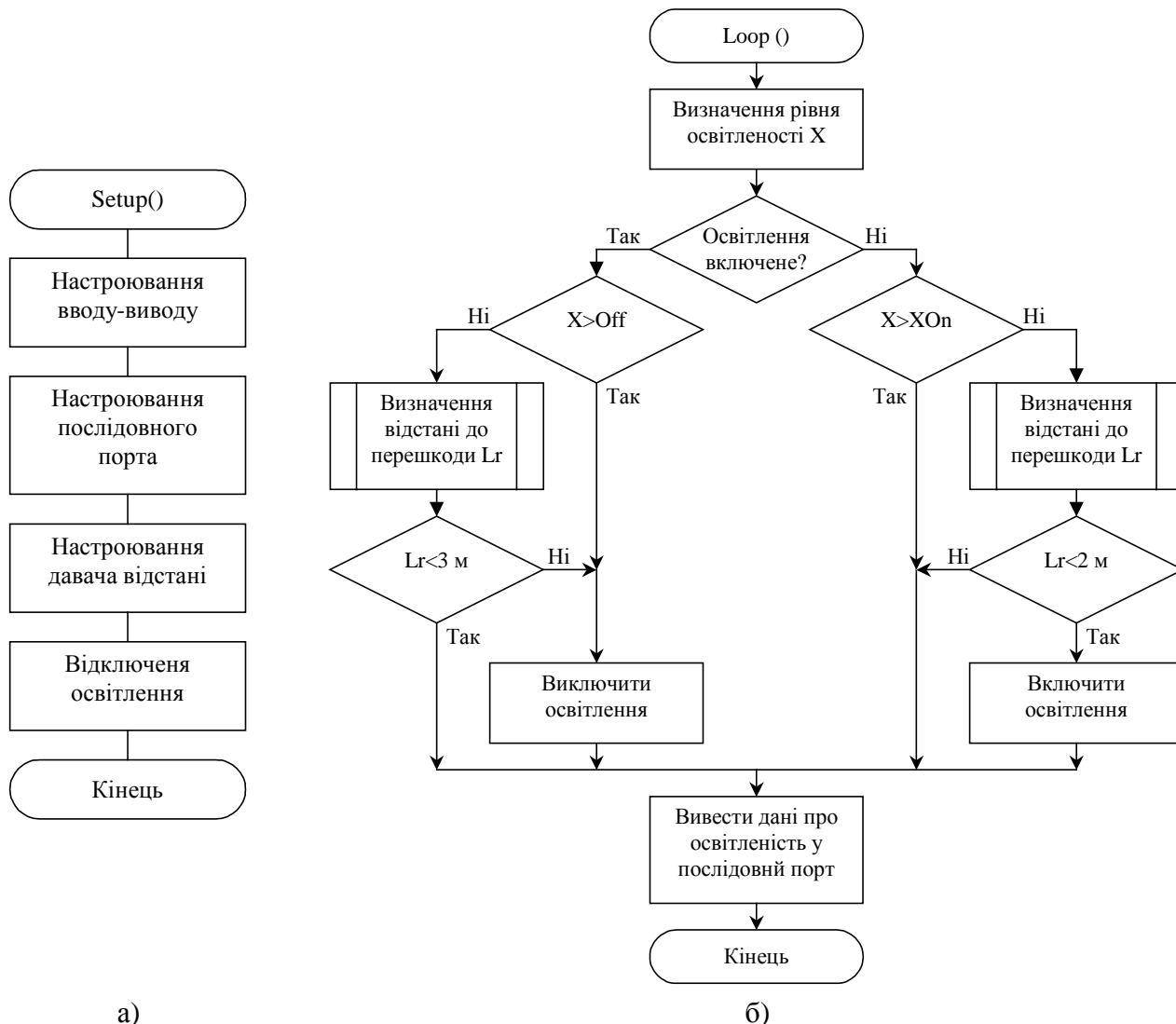


Рис. 9. Алгоритм початково встановлення (а) та основного циклу роботи (б) системи контролю освітленості.

Завдання

Розробити систему для реалізації контролю освітленості у приміщенні згідно наведеного вище алгоритму. Дані про освітленість передавати через послідовний порт. Допустиме значення освітленості, варіант підключення датчиків вказані у таблиці. У якості виконавчого елемента використовувати або блок реле або макет освітлювальної установки на основі світлодіода (за вказівками викладача) залежно від наявного обладнання.

Роботу написаної програми продемонструвати викладачу.

Звіт з лабораторної роботи повинен містити:

- 1) принципову схему побудованої системи
- 2) керуючу програму для згідно відповідного варіанту завдання.

Табл. 1. Варіанти завдання.

Варіант	Схема з датчиком освітленості	Вивід підключення датчика освітленості	Вивід підключення Trig	Вивід підключення Echo	Вивід для включення виконавчого елемента
1	2	3	4	5	6
1	Рис. 2 а	A0	1	2	3
2	Рис. 2 б	A1	2	3	4
3	Рис. 2 а	A2	3	4	5

Табл. 1. Варіанти завдання.

Варіант	Схема з давачем освітленості	Вивід підключення давача освітленості	Вивід підключення Trig	Вивід підключення Echo	Вивід для включення виконавчого елемента
1	2	3	4	5	6
4	Рис. 2 б	A3	4	5	6
5	Рис. 2 а	A4	5	6	7
6	Рис. 2 а	A0	6	7	8
7	Рис. 2 б	A1	7	8	9
8	Рис. 2 а	A2	8	9	10
9	Рис. 2 б	A3	9	10	1
10	Рис. 2 а	A4	10	11	2
11	Рис. 5 а	A0	1	2	3
12	Рис. 5 б	A1	2	3	4
13	Рис. 5 а	A2	3	4	5
14	Рис. 5 б	A3	4	5	6
15	Рис. 5 а	A4	5	6	7
16	Рис. 5 б	A0	6	7	8
17	Рис. 5 а	A1	7	8	9
18	Рис. 5 б	A2	8	9	10
19	Рис. 5 а	A3	9	10	1
20	Рис. 5 б	A4	10	11	2

Література

1. Соммер У. Программирование микроконтроллерных плат Arduino/Freduino. — СПб.: БХВ-Петербург, 2012. — 256 с. ил — (Электроника)
2. Юревич Е.И. Проектирование технических систем. СПб.Питер 2001. 96 с.
3. Методичні вказівки до лабораторної роботи № 16 “Ознайомлення із контролерами сімейства Arduino” з курсу “Проектування систем автоматизації”. Шкодзінський О.К., Пісьціо В.П., Медвідь В.Р., Галушка А.В., Тернопіль: ТНТУ, 2016 - 27 с.

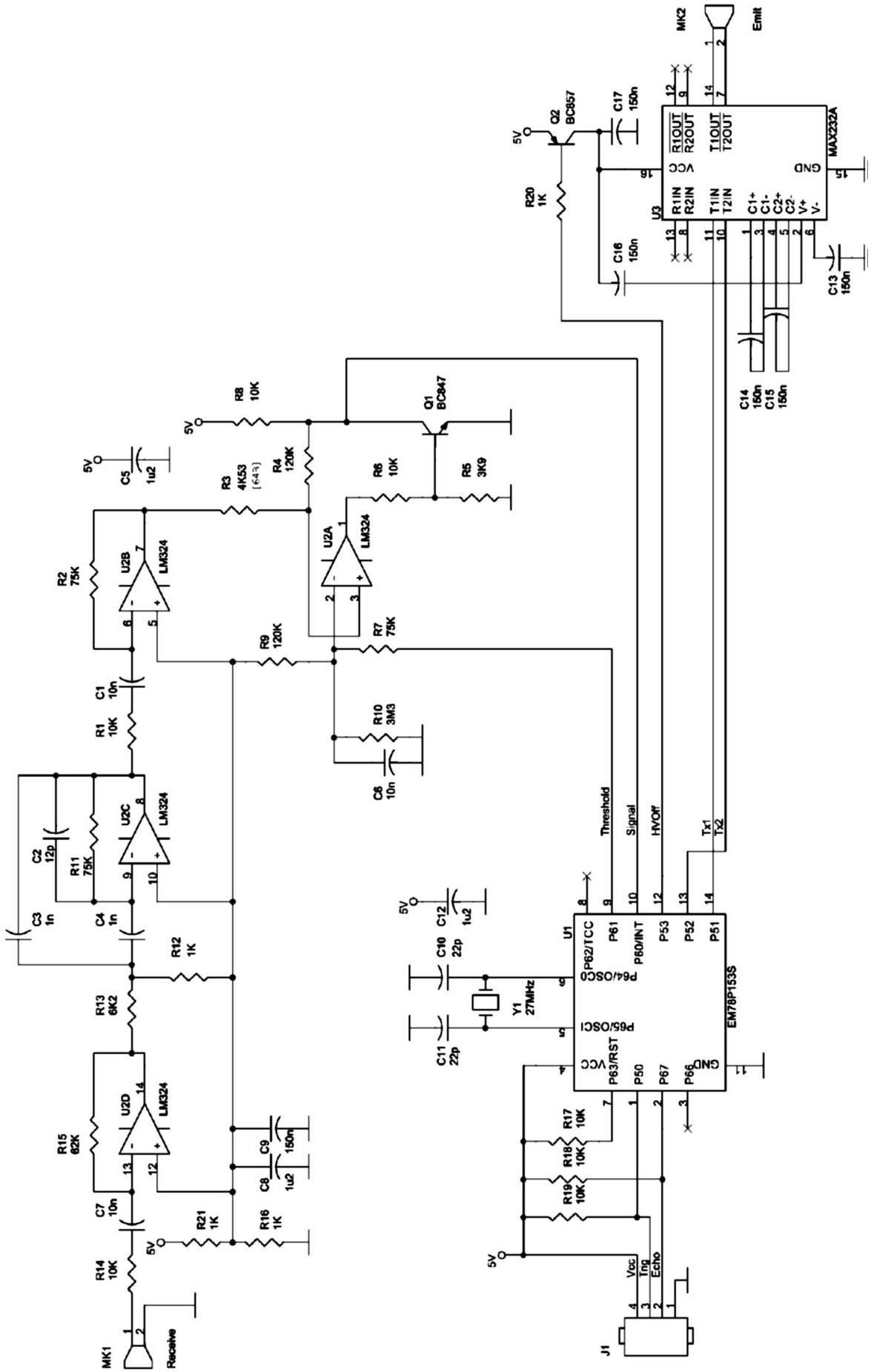


Рис. 10. Давач HC-SR04

Зміст

Тема роботи.....	3
Мета роботи.....	3
Опис потрібних властивостей системи.....	3
Давачі освітленості на основі фоторезисторів.....	3
Давачі освітленості на основі фотодіодів.....	4
Давач присутності на основі HC-SR04.....	6
Принцип дії.....	7
Алгоритм роботи системи контролю освітленості.....	9
Завдання.....	10
Література.....	11
Зміст.....	13