

С.Г. НАТРОШВІЛІ, Г.Р. НАТРОШВІЛІ,
Т.Г. БАБІНА, Б.М. ЗЛОТЕНКО, Т.І. КУЛІК
Київський національний університет технологій та дизайну

КОМП'ЮТЕРНО-ІНТЕГРОВАНА СИСТЕМА КЕРУВАННЯ ПРИРОДНИМ І ШТУЧНИМ ОСВІТЛЕННЯМ РОЗУМНОГО БУДИНКУ

Стаття присвячена дослідженню системи керування освітленням «розумного будинку». Метою роботи є розроблення та експериментальне дослідження комп'ютерно-інтегрованої системи керування освітленням «розумного будинку» на базі мікроконтролера Arduino Leonardo для автоматичного позиціонування пластин жалюзі і вмикання та вимикання освітлювальних приладів. Дослідження проведено на основі використання спеціально розробленої експериментальної установки, яка включає в себе контролер Arduino Leonardo, механізм приводу жалюзі, а також світлодіоди для імітації природного і штучного освітлення і датчики освітленості. В якості датчика освітленості використано фоторезистор. В результаті проведеного експериментального дослідження підтверджено працездатність розробленої комп'ютерно-інтегрованої системи освітлення розумного будинку. Отримана експериментальна залежність падіння напруги на фоторезисторі від яскравості внутрішнього світлодіода підтверджує достовірність прийнятих вихідних положень в процесі створення системи освітлення і її програмного забезпечення. Запропонована система дозволяє використовувати природне освітлення за рахунок автоматичного відкриття жалюзі у світлий період доби, закриття жалюзі і увімкнення освітлювальних приладів протягом темного періоду. Наведено алгоритм роботи системи освітлення, створено керуючу програму на мові програмування Wiring для завантаження в контролер Arduino Leonardo, використовуючи персональний комп'ютер з USB інтерфейсом. Оптимальне використання природного освітлення квартири, будинку або офісу необхідно для здоров'я людей, їх комфорту, а також економії енергоресурсів. Тому розроблена система освітлення «розумний будинок» забезпечує регулювання інтенсивності природного світлового потоку за рахунок автоматичного управління положенням заслінок жалюзі. При настанні темного періоду доби автоматичне закриття віконного проїму за допомогою жалюзі і вмикання штучного освітлення забезпечує необхідний рівень комфорту мешканцям розумного будинку.

Ключові слова: освітлення, контролер, система керування, Arduino Leonardo, жалюзі.

S. NATROSHVILI, G. NATROSHVILI, T. BABINA, B. ZLOTENKO, T. KULIK
Kyiv National University of Technologies and Design

COMPUTER-INTEGRATED CONTROL SYSTEM FOR NATURAL AND ARTIFICIAL LIGHTING OF A SMART BUILDING

The article is devoted to the study of a smart home's lighting control system. The aim of the work is the development and experimentally study of a computer-integrated lighting control system for a smart home based on the Arduino Leonardo microcontroller for automatic positioning of blind panels and switching on and off lighting fixtures. The study was conducted using a specially designed experimental setup that includes an Arduino Leonardo controller, a blinds drive mechanism, as well as LEDs for simulating natural and artificial lighting and light sensors. A photoresistor is used as a light sensor. The Monitor program is used to display the data coming from the Arduino controller to the personal computer via the USB serial interface. The data that is read is displayed on the monitor screen by transmitting it via the serial port. At the same time there is an automatic return of the carriage and transition to a new line. As a result of the experimental study, the performance of the developed computer-integrated lighting system for the smart home was confirmed. The obtained experimental dependence of the voltage drop across the photoresistor on the brightness of the internal LED confirms the reliability of the adopted initial positions in the process of creating the lighting system and its software. The proposed system allows the use of natural light by automatically opening the blinds during the daytime, closing the blinds and turning on the lighting fixtures during the dark period. An algorithm for the operation of the lighting system is presented; a control program in the Wiring programming language has been created for loading into an Arduino Leonardo controller using a personal computer with a USB interface. Optimal use of natural light in an apartment, house or office is necessary for people's health, their comfort, as well as energy savings. In this regard, the developed lighting system "smart home" provides regulation of the intensity of natural lighting due to automatic control of the position of the blinds. At nightfall, automatic closing of the windows with blinds and switching on artificial lighting provides the necessary level of comfort for the residents of the smart home.

Keywords: lighting, controller, control system, Arduino Leonardo, blinds.

Вступ

В сучасному світі, у зв'язку з наростаючою комп'ютеризацією усіх сфер життєдіяльності людини, технології комп'ютерно-інтегрованого керування знайшли своє широке застосування в багатьох галузях науки, техніки і промисловості. Серед багатьох прикладів можна навести таке поняття як «розумний будинок». Система «розумний будинок» представлена комп'ютерно-інтегрованими комплексами, які здійснюють керування усім інженерним оснащенням будівель, у тому числі, електроприладами, освітленням і температурою повітря в приміщеннях [1–3].

Оптимальне використання природного освітлення квартири, будинку або офісу необхідно для здоров'я людей, їх комфорту, а також економії енергоресурсів. Тому проектування системи «розумний будинок» передбачає розробку систем регулювання інтенсивності природного світлового потоку за рахунок автоматичного управління положенням заслінок жалюзі. При настанні темного періоду доби автоматичне закриття віконного проїму за допомогою жалюзі і вмикання штучного освітлення забезпечить необхідний рівень комфорту мешканцям розумного будинку [4, 5].

Постановка задачі

Метою роботи є дослідження комп'ютерно-інтегрованої системи керування освітленням «розумного будинку» для автоматичного позиціонування пластин жалюзі і вмикання та вимикання освітлювальних приладів.

Для проведення дослідження потрібно обрати компоненти і реалізувати експериментальну установку, яка має у своєму складі усі елементи системи освітлення і дозволяє імітувати зміну світлого і темного періодів доби.

Результати дослідження

Одним із головних компонентів системи є мікроконтролер, який забезпечує програмне керування виконавчими елементами, такими як електропривод механізму жалюзі і електромагнітне реле для комутації електричного кола освітлювальних приладів.

В системах «розумний будинок» широко використовуються контролери Arduino, які стали одними з найпопулярніших контролерів на ринку з величезною різноманітністю плат [6, 7]. Для реалізації системи освітлення був обраний контролер Arduino Leonardo – пристрій на базі мікроконтролера ATmega32U4. До складу пристрою входить 20 входів/виходів, кварцовий резонатор на 16 МГц, роз'єм micro-USB, роз'єм живлення, роз'єм для внутрішньосхемного програмування і кнопка скидання. Об'єм вільної пам'яті для зберігання програми в мікроконтролері ATmega32U4 дорівнює 32 кБ, 4 кБ виділяється під потреби завантажувача. Об'єм оперативної пам'яті типу SRAM дорівнює 2,5 кБ. В мікроконтролер ATmega32U4 вбудований USB-контролер, що виключає необхідність в додатковому процесорі [8, 9].

Принципова електрична схема системи освітлення для дослідження комп'ютерно-інтегрованої системи освітлення на основі використання Arduino Leonardo наведена на рис. 1.

При подачі живлення до виводу VUSB контролера ATmega 32U4 здійснюється вмикання внутрішнього світлодіода HL1, який імітує денне світло, і встановлення початкового положення 0, яке займає вал виконавчого двигуна M1. В цьому положенні жалюзі відкриті. При цьому забезпечується попадання світлового потоку, випромінюваного світлодіодом HL1, на чутливий елемент фоторезистора LDR1.

Фоторезистор і один із аналогових виводів A10 аналого-цифрового перетворювача контролера призначені для зчитування аналогових значень в межах 0-1023, що відповідає зміні напруги в межах 0-5 В, і порівняння зі значенням, що задане за допомогою програми.

Оскільки світловий потік потрапляє на фоторезистор, це значення стає меншим заданої величини, в результаті чого перевіряється положення вала виконавчого двигуна M1 і визначається виконання умови відповідності цього положення величині 120°. При цьому із привода виконавчого серводвигуна M1 на вивід контролера DP9 потрапляє вихідна напруга потенціометра серводвигуна, після чого відбувається її порівняння з величиною, заданою програмою.

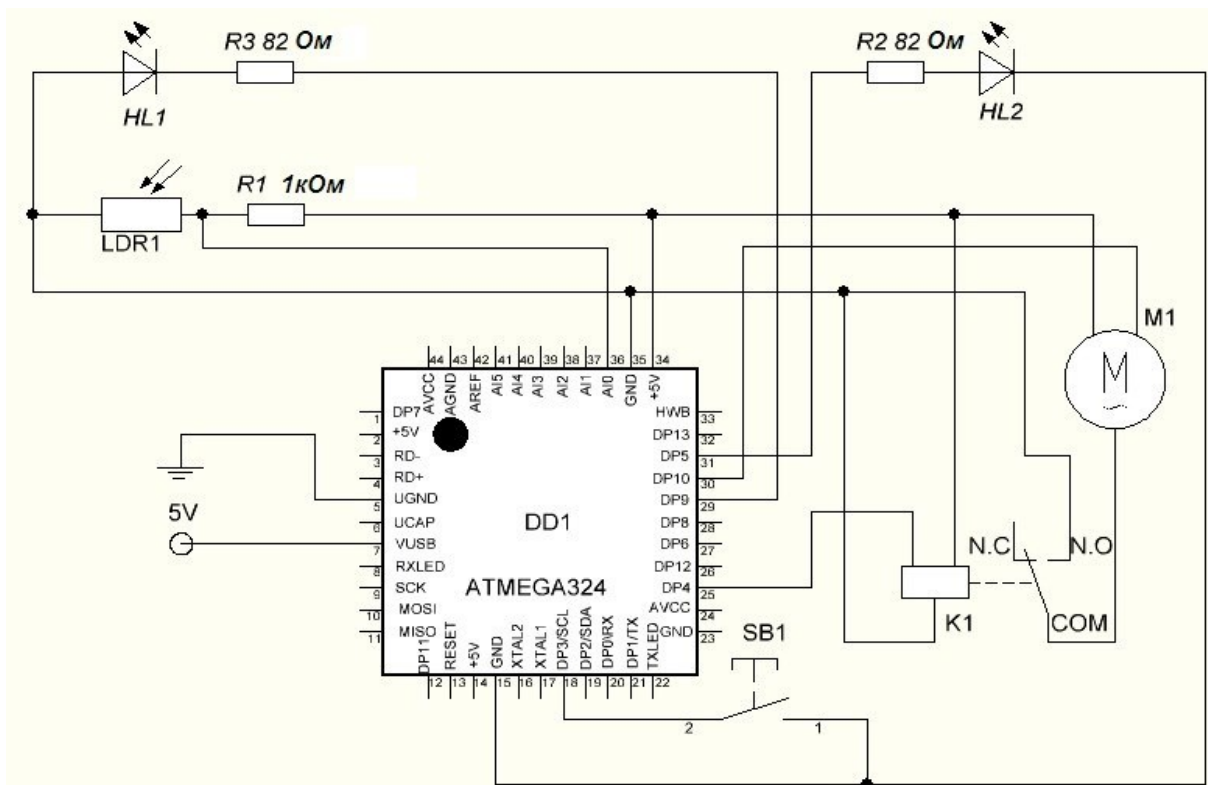


Рис. 1. Електрична схема комп'ютерно-інтегрованої системи освітлення

Так як положення вала виконавчого двигуна на початку роботи системи освітлення відповідає величині 0° , то вихідна напруга потенціометра менше заданої програмою величини, і не виконується поставлена умова, жалюзі відкриті, а зовнішній світлодіод HL2, який імітує освітлювальний прилад, залишається вимкненим.

В результаті натискання кнопки S1 тактового перемикача відбувається вимкнення внутрішнього світлодіода HL1 і світловий потік, який сприймається фоторезистором зникає. При цьому на вивід контролера АІО, який є аналоговим, подається вихідна напруга фоторезистора і відбувається її порівняння з величиною, заданою програмою.

В цьому випадку вихідна напруга фоторезистора має значення більше, ніж задане програмою. При цьому здійснюється визначення положення вала виконавчого двигуна, і перевіряється умова чи не перевищує воно 120° , або чи відкриті жалюзі. Оскільки на початку роботи жалюзі відкриті, а вал виконавчого двигуна займає положення, яке відповідає 0° , то настає виконання поставленої умови.

В результаті відбувається увімкнення зовнішнього світлодіода HL2 за допомогою цифрового виводу DP5, від DP4 подається керуючий сигнал на реле K1, COM і N.O. контакти якого замикаються. При цьому з виводу DP10 здійснюється подача керуючого сигналу на виконавчий двигун, який забезпечує поворот його вала з положення, яке відповідає величині 0 градусів до положення, яке відповідає величині 120° . В результаті цього жалюзі стають закритими, а контакти реле розімкненими.

Повторне натискання кнопки тактового перемикача призводить до увімкнення внутрішнього світлодіода HL1. При цьому величина напруги фоторезистора приймає значення менше того, яке задане програмою. Оскільки тепер вал виконавчого двигуна займає положення, яке відповідає величині 120° , то відбудеться його повернення в положення, яке відповідає величині 0° , тобто жалюзі повернуться у відкрите положення. При цьому відбудеться вимкнення зовнішнього світлодіода HL2, і система освітлення повернеться у вихідний стан.

Для програмування контролера Arduino Leonardo використане середовище Arduino IDE. Розроблена програма завантажується у контролер також за допомогою даного середовища. Мова Wiring середовища Arduino IDE розроблена на основі мов програмування C/C++ [10].

Створювані у середовищі Arduino IDE програми мають назву скетчів. При натисканні кнопки завантаження розробленого скетчу в контролер Arduino Leonardo, написаний код транслюється в мову програмування C. Далі компілятор avr-gcc здійснює остаточну трансляцію коду на мову, яка зрозуміла для мікроконтролера.

Алгоритм роботи системи освітлення, наведений на рис. 2, полягає у виконанні наступних кроків:

1. Здійснюється ініціалізація змінних. – Здійснюється ініціалізація режимів, у яких працюють виводи. – Оголошуються константи. – Здійснюється встановлення положення вала виконавчого двигуна, яке відповідає величині 0° . – Здійснюється увімкнення внутрішнього світлодіода.

2. Зчитуються дані, які подаються датчиком освітлення.

3. Перевіряється стан тактового перемикача. Якщо кнопка тактового перемикача була натиснута, здійснюється виконання пункту 4, якщо ні – здійснюється виконання пункту 5.

4. Перевіряється стан внутрішнього світлодіода. Якщо внутрішній світлодіод увімкнений, то здійснюється його вимкнення, а якщо ні – то увімкнення.

5. Проводиться порівняння значень вихідної напруги, яка подається датчиком освітлення з встановленим програмою значенням. Якщо значення напруги фоторезистора більше значення, заданого програмою, здійснюється виконання пункту 6, якщо ні – виконання пункту 7.

6. Визначається положення вала виконавчого двигуна. Якщо воно відповідає величині менше 120° , то відбувається:

- увімкнення зовнішнього світлодіода;
- увімкнення реле;
- поворот вала виконавчого двигуна у положення, яке відповідає величині 120° ;
- вимкнення реле.

Якщо ні – здійснюється виконання пункту 2.

7. Якщо положення вала виконавчого двигуна знаходиться у положенні, яке відповідає величині 120° , то відбувається:

- вимкнення зовнішнього світлодіода;
- увімкнення реле;
- поворот вала виконавчого двигуна у положення, яке відповідає величині 0° ;
- вимкнення реле.

Якщо ні – здійснюється виконання пункту 2.

З метою отримання програмного доступу до значень вихідної напруги, яку видає фоторезистор, використано дільник напруги в способі підключення фоторезистора до схеми лабораторної установки (рис. 3).

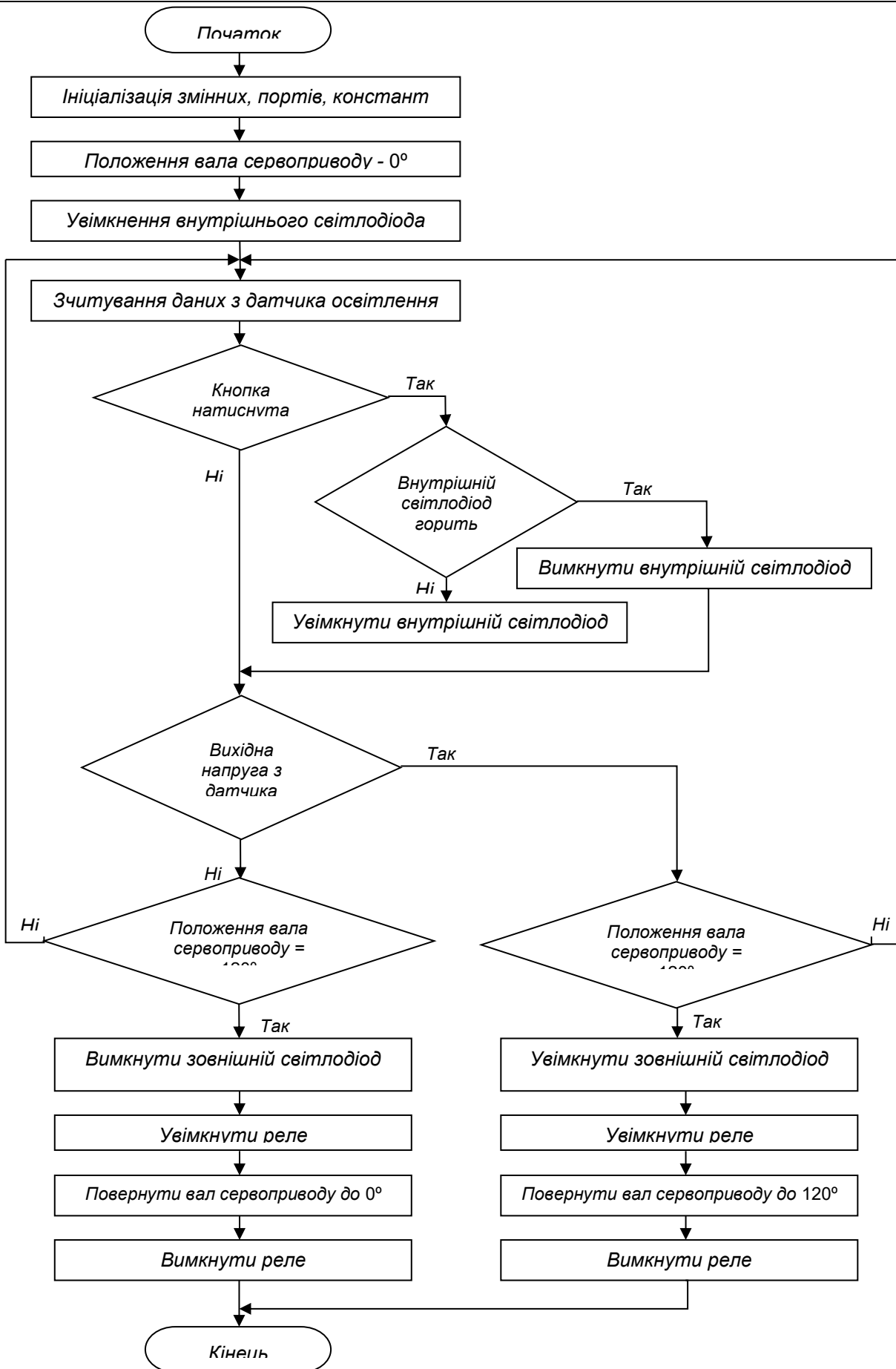


Рис. 2 Алгоритм роботи системи освітлення

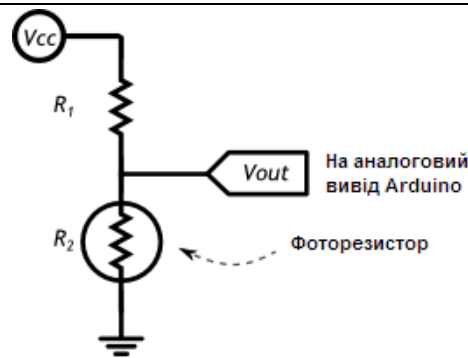


Рис. 3. Спосіб підключення фоторезистора

Величина сили струму, який проходить через обидва резистори, з'єднані послідовно, одна і та ж сама і визначається відповідно до закону Ома у вигляді:

$$I = \frac{V_{cc}}{R_1 + R_2}, \quad (1)$$

де V_{cc} – величина вхідної напруги; R_1 і R_2 – опори резистора і фоторезистора відповідно. Падіння напруги на фоторезисторі можна також визначити за допомогою закону Ома:

$$V_{out} = I \cdot R_2 = \frac{R_2 \cdot V_{cc}}{R_1 + R_2}. \quad (2)$$

З виразу (2) витікає, що із збільшенням опору R_2 по відношенню до опору R_1 падіння напруги на фоторезисторі збільшується.

Серед можливостей контролера Arduino є здатність вимірювання напруги, яка визначається аналоговими датчиками. З цією метою використовується `analogRead` функція. У випадку, коли датчик під'єднується до виводу Arduino A0, для перетворення величини сигналу, отриманого за допомогою датчика, у змінну необхідно використати команду `int value = analogRead(A0)`.

Отримані дані можна представити візуально на моніторі. Для цього монітор з'єднується з послідовним портом шляхом використання команди `Serial.begin(rate)`. При цьому здійснюється відкриття послідовного порту і встановлюється швидкість, з якою передаються дані.

З метою відображення даних, які надходять з контролера Arduino на персональний комп'ютер за допомогою послідовного інтерфесу USB, використано програму Монітор.

Таким чином, дані, які зчитуються, виводяться на екран монітора за допомогою команди `Serial.begin(rate)` шляхом передачі даних через послідовний порт. При цьому відбувається автоматичне повернення каретки і перехід до нового рядка.

Для читання даних необхідно після завантаження програми в контролер Arduino натиснути на кнопку Монітор порту, яка знаходиться в правій верхній частині вікна програми.

З метою моделювання зміни інтенсивності світлового потоку природного освітлення у лабораторній установці здійснюється зміна яскравості випромінювання світлодіода, яка при проведенні досліду збільшується в межах 0%...100% поступово. При цьому на екрані монітора відображається стрічка `led_in brightness 0%, 20%,...` Таким чином подається інформація щодо яскравості внутрішнього світлодіода `led_in`, який імітує денне світло. При цьому за кожним рівнем яскравості виводяться цілочисленні значення у вигляді п'яти рядків вихідної напруги фоторезистора, яка вимірюється.

Оскільки вхідна напруга контролера Arduino може коливатися в діапазоні 0...5 В, то програмою здійснюється перетворення цих даних у цілочисленні значення в діапазоні 0...1023. Крім того, спостерігається коливання виведених значень навколо одного числа, а саме 150, під час випромінювання світлодіодом світла, яке складає 20% від максимальної яскравості `led_in brightness20%`.

У зв'язку з цим, при кожному рівні яскравості зчитуються 6 виведених значень з подальшим визначенням середньоарифметичного значення для кожного рівня яскравості, яке буде являти собою вхідну напругу у вигляді

$$\bar{V}_{out}(\text{цифр.}) = \frac{\sum_{i=0}^n V_{out(i)}}{n}, \quad (3)$$

де $V_{out(i)}$ – значення вхідної напруги для даного рівня яскравості; $n = 6$ – кількість значень, виведених для даного рівня яскравості.

Процедура дослідження роботи пари внутрішній світлодіод-фоторезистор включає у себе виконання наступних кроків:

1. Підключення контролера Arduino Leonardo до персонального комп'ютера через USB кабель.

2. Відкриття на персональному комп'ютері програмного середовища Arduino IDE. Ідентифікація COM порту за допомогою Диспетчера пристроїв Windows і встановлення відповідного номера всередині середовища Arduino IDE.

3. Копіювання скетчу для проведення дослідження в середовище Arduino IDE.

4. Завантаження скетчу в контролер шляхом натискання кнопки панелі інструментів Завантажити. Після кількасекундної паузи перевірка наявності повідомлення про успішне завантаження.

5. Відкриття у правій верхній частині вікна Монітор порту.

6. Контроль виведення усіх значень вихідної з фоторезистора напруги у відповідності до різних рівнів яскравості світлодіода.

8. Занесення усіх отриманих значень в таблицю 1.

9. Закриття вікна Монітор порту і від'єднання USB кабелю від персонального комп'ютера.

10. Розрахунок середньоарифметичних значень вихідної напруги фоторезистора з використанням формули (3) і занесення отриманих значень в табл. 1.

11. Переведення отриманих даних у цифровому форматі до аналогових значень вихідної напруги з фоторезистора з використанням формули:

$$\bar{V}_{out(аналог.)} = \frac{\bar{V}_{out(цифр.) \cdot 5}{1023}, \tag{4}$$

12. Занесення аналогових значень вихідної з фоторезистора напруги у табл. 1.

13. Побудова графічної залежності вихідної напруги фоторезистора від яскравості внутрішнього світлодіода.

Таблиця 1

Результати дослідження

Φ, %	V _{out(i)}						V̄ _{out(цифр.)}	, В
	1	2	3	4	5	6		
0	1023	1023	1023	1023	1023	1023	1023	5
20	749	744	739	735	731	726	737	3,6
40	650	644	638	632	626	620	635	3,1
60	604	600	596	592	588	584	594	2,9
80	558	556	554	552	550	548	553	2,7
100	517	515	513	511	509	507	512	2,5

Отримана графічна залежність вихідної з фоторезистора напруги від яскравості внутрішнього світлодіода наведена на рис. 4.

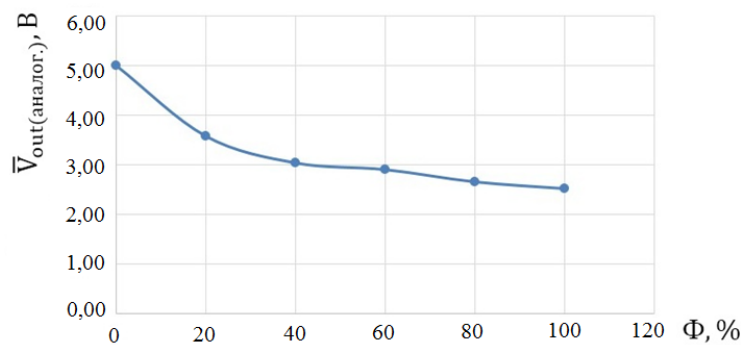


Рис. 4. Графік залежності вихідної напруги фоторезистора від яскравості внутрішнього світлодіода

При поступовому збільшенні яскравості внутрішнього світлодіода з 0% до 40% світлового потоку величина вихідної напруги фоторезистора зменшується. При подальшому збільшенні яскравості внутрішнього світлодіода вихідна напруга фоторезистора монотонно зменшується, хоча з меншою інтенсивністю.

Як видно з рис. 5, при відсутності світлового потоку від внутрішнього світлодіода до фоторезистора вихідна напруга фоторезистора приймає максимальне значення 5 В.

Найбільшій 100% яскравості світлодіода відповідає найменше значення вихідної напруги фоторезистора 2,5 В.

Висновки

Розроблено комп'ютерно-інтегровану схему керування освітленням розумного будинку з оптимальною структурою, яка дозволяє використовувати її в якості лабораторної установки. Лабораторна установка дозволяє проводити дослідження режимів роботи системи в режимі імітації змін світлого та

темного періодів доби. При цьому протягом світлої доби використовується природне освітлення за рахунок автоматичного відкриття жалюзі, а протягом темного періоду вмикається автоматично штучне освітлення і закриваються жалюзі.

В процесі створення програмного забезпечення системи керування освітленням розроблено керуючий алгоритм, що відображає логічну послідовність реалізації режимів її роботи. В середовищі Arduino IDE створено керуючу програму, або скетч, на мові програмування Wiring для завантаження в контролер Arduino Leonardo, використовуючи персональний комп'ютер з USB інтерфейсом.

В результаті проведеного експериментального дослідження підтверджено працездатність розробленої комп'ютерно-інтегрованої системи освітлення розумного будинку. Отримана експериментальна залежність вихідної напруги фоторезистора від яскравості внутрішнього світлодіода підтверджує достовірність прийнятих вихідних положень в процесі створення програмного забезпечення розробленої системи освітлення.

Література

1. Гололобов В. Н. Умный дом своими руками / Гололобов В. Н. – М. : НТ Пресс, 2007. – 416 с.
2. Elsenpeter R. C., Velte, T. J. Build your own smart home. McGraw-Hill/Osborne, 2003. 360 p.
3. Що таке розумний будинок: огляд системи розумного дому Smart Home в Україні. Система розумний будинок : веб-сайт. – URL : <https://kolecs.lviv.ua/systema-rozumnyi-budynok/>.
4. Василенко В. І. Особливості побудови інтелектуальних енергетичних систем будівель та споруд / В.І. Василенко, І.А. Ремізов // Енергетичний менеджмент: стан та перспективи розвитку – PEMS : зб. матеріалів IV міжнар. наук.-техн. конф., 4–7 черв. 2019 р. – К. : НТУУ «КПІ», 2019. – С. 21-22.
5. Javed A. Building Arduino. Projects for the Internet of Things. Experiments with Real-World Applications. USA: Apress Media, LLC, 2016. 244 p.
6. Blum J. Arduino: Exploring Arduino: tools and techniques for engineering wizardry. 2nd edition. Wiley & Sons, 2019. 512 p.
7. Oxe J., Blemings H. Practical Arduino: Cool Projects for Open Source Hardware. Berkeley, CA: Apress, 2009. 423 p.
8. Evans B. Beginning Arduino programming: Writing code for the most popular microcontroller board in the world. New York, NY: Apress, 2011. 252 p.
9. Margolis M. Arduino Cookbook. O'Reilly Media, 2011. 632 p.
10. Stroustrup B. A Tour of C++. Addison-Wesley Professional, 2018.

References

1. Gololobov V. N. Umnyj dom svoimi rukami / Gololobov V. N. – M. : NT Press, 2007. – 416 s.
2. Elsenpeter R. C., Velte, T. J. Build your own smart home. McGraw-Hill/Osborne, 2003. 360 p.
3. Sheho take rozumnyi budynok: ohliad systemy rozumnoho domu Smart Home v Ukraini. Systema rozumnyi budynok : veb-sait. – URL : <https://kolecs.lviv.ua/systema-rozumnyi-budynok/>.
4. Vasylenko V. I. Osoblyvosti pobudovy intelektualnykh enerhetychnykh system budivel ta sporud / V.I. Vasylenko, I.A. Remizov // Enerhetychnyi menedzhment: stan ta perspektyvy rozvytku – PEMS : zb. materialiv IV mizhnar. nauk.-tekhn. konf., 4–7 cherv. 2019 r. – K. : NTUU «KPI», 2019. – С. 21-22.
5. Javed A. Building Arduino. Projects for the Internet of Things. Experiments with Real-World Applications. USA: Apress Media, LLC, 2016. 244 p.
6. Blum J. Arduino: Exploring Arduino: tools and techniques for engineering wizardry. 2nd edition. Wiley & Sons, 2019. 512 p.
7. Oxe J., Blemings H. Practical Arduino: Cool Projects for Open Source Hardware. Berkeley, CA: Apress, 2009. 423 p.
8. Evans B. Beginning Arduino programming: Writing code for the most popular microcontroller board in the world. New York, NY: Apress, 2011. 252 p.
9. Margolis M. Arduino Cookbook. O'Reilly Media, 2011. 632 p.
10. Stroustrup B. A Tour of C++. Addison-Wesley Professional, 2018.

Надійшла / Paper received : 11.10.2020

Надрукована/Printed :27.11.2020