

Міністерство освіти і науки України

Луцький національний технічний університет

(повне найменування закладу вищої освіти)

Факультет комп'ютерних та інформаційних технологій

(повне найменування факультету)

Кафедра комп'ютерної інженерії та охоронних систем

(повне найменування кафедри)

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
ЗА СТУПЕНЕМ ВИЩОЇ ОСВІТИ «БАКАЛАВР»

СЕРВІСНИЙ ХАБ РОЗУМНОГО БУДИНКУ НА БАЗІ MSP430

MSP430-BASED SMART HOME SERVICE HUB

спеціальність 123 Комп'ютерна інженерія

(шифр і назва спеціальності)

освітня програма Комп'ютерна інженерія

(назва освітньої програми)

Виконав: здобувач вищої освіти
групи КІ-41

Михальчук Федір Вячеславович

(підпис)

Керівник:

к.т.н., доцент

Христинець Наталія Анатоліївна

(підпис)

Кваліфікаційну роботу

допущено до захисту

« _____ » червня 2026 р.

Гарант освітньої програми:

к.т.н., доцент

Лавренчук Світлана Василівна

(підпис)

Луцьк – 2026 року

ЛУЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет комп'ютерних та інформаційних технологій

Кафедра комп'ютерної інженерії та безпеки

Ступінь вищої освіти: бакалавр

Галузь знань: 12 Інформаційні технології

Спеціальність: 123 Комп'ютерна інженерія

Освітня програма: «Комп'ютерна інженерія»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

доц. Т. Терлецький

« 23 » 12 2025 р.

ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ ЗДОБУВАЧУ ВИЩОЇ ОСВІТИ

Михальчук Федору Вячеславовичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема кваліфікаційної роботи Сервісний хаб розумного будинку на базі MSP430

Керівник роботи к.т.н., доцент Христинець Наталія Анатоліївна

затверджені наказом закладу вищої освіти від «20» грудня 2025 року № 536/01-02

2. Строк подання здобувачем вищої освіти кваліфікаційної роботи 28.05.2026 р.

3. Вихідні дані до роботи Джерелом розробки є науково-технічна література та публікації в періодичних виданнях з даного питання, опубліковані зарубіжні та вітчизняні роботи в даній області, різні інтернет-ресурси технічного спрямування

4. Зміст пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити):

Вступ

Аналіз систем розумного будинку та мікроконтролерних платформ

Проектування сервісного хабу розумного будинку

Програмна реалізація та дослідження системи

Висновки

5. Перелік графічного (ілюстративного) матеріалу:

ASK і FSK модуляція

Друкована плата модулятора

Друкована плата демомодулятора

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис	
		завдання видав	завдання прийняв
<i>Аналіз систем розумного будинку та мікроконтролерних платформ</i>	<i>Христинець Н. А., доцент</i>		
<i>Проектування сервісного хабу розумного будинку</i>	<i>Христинець Н. А., доцент</i>		
<i>Програмна реалізація та дослідження системи</i>	<i>Христинець Н. А., доцент</i>		
<i>Нормоконтроль</i>	<i>Багнюк Н. В., доцент</i>		
<i>Гарант ОП</i>	<i>Лавренчук С. В., доцент</i>		
<i>Показник запозичень тексту</i>	____%		
<i>Академічна доброчесність</i>	<i>Міскевич О. І., ст. викладач</i>		

7. Дата видачі завдання 23.12.2025 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1.	<i>Огляд літератури із досліджуваної проблеми, аналіз предметної області та наявних рішень</i>	до 10.02.2026 р.	
2.	<i>Аналіз систем розумного будинку та мікроконтролерних платформ</i>	до 02.03.2026 р.	
3.	<i>Проектування сервісного хабу розумного будинку</i>	до 02.04.2026 р.	
4.	<i>Програмна реалізація та дослідження системи</i>	до 10.04.2026 р.	
5.	<i>Представлення остаточного варіанту кваліфікаційної роботи керівникові</i>	до 01.05.2026 р.	
6.	<i>Нормоконтроль</i>	до 23.05.2026 р.	
7.	<i>Інструментальна перевірка на академічний плагіат</i>	до 03.05.2026 р.	
8.	<i>Здача кваліфікаційної роботи та всіх супровідних документів на кафедру</i>	до 28.05.2026 р.	

Здобувач вищої освіти

(підпис)

Федір МИХАЛЬЧУК

(прізвище, ініціали)

Керівник кваліфікаційної роботи

(підпис)

Наталія ХРИСТИНЕЦЬ

(прізвище, ініціали)

АНОТАЦІЯ

Михальчук Ф. В. Сервісний хаб розумного будинку на базі MSP430.
Рукопис.

Кваліфікаційна робота бакалавра ОП «Комп'ютерна інженерія» спеціальності 123 Комп'ютерна інженерія. Луцький національний технічний університет. Луцьк, 2026.

Кваліфікаційна робота складається зі вступу, трьох розділів, висновків, списку використаних джерел та додатків.

У першому розділі розглянуто особливості побудови систем розумного будинку та вбудованих систем контролю. Проаналізовано принципи роботи датчиків руху, герконових датчиків, а також виконавчих пристроїв, зокрема релейних модулів і звукових сигналізаторів. Розглянуто основні підходи до організації систем сигналізації та контролю стану об'єктів.

У другому розділі виконано проектування апаратної частини системи. Обґрунтовано вибір мікроконтролера MSP430, описано структуру системи, принципи підключення датчиків і виконавчих пристроїв, а також особливості використання портів введення/виведення та допоміжних елементів, таких як підтягуючі резистори.

У третьому розділі описано реалізацію програмного забезпечення системи. Розглянуто алгоритми обробки сигналів від датчиків, реалізацію логіки роботи системи сигналізації, керування реле та звуковим сигналізатором, а також інтеграцію всіх компонентів у єдину систему. Описано принципи забезпечення стабільної роботи системи в реальному часі.

Ключові слова: розумний будинок, MSP430, вбудовані системи, датчик руху, геркон, реле, бузер, система сигналізації.

ANNOTATION

Mykhalchuk F. MSP430-Based Smart Home Service Hub. Manuscript.

Bachelor's qualification work in the Educational Program «Computer Engineering», specialty 123 Computer Engineering. Lutsk National Technical University. Lutsk, 2026.

The qualification work consists of an introduction, three chapters, conclusions, a list of references and appendices.

The first chapter considers the features of smart home systems and embedded control systems design. The principles of operation of motion sensors, reed switches, as well as actuating devices, in particular relay modules and buzzers, are analyzed. The main approaches to organizing alarm and object state monitoring systems are described.

The second chapter presents the design of the hardware part of the system. The choice of the MSP430 microcontroller is substantiated, the system structure is described, the principles of connecting sensors and actuating devices are explained, as well as the features of using input/output ports and auxiliary elements such as pull-up resistors.

The third chapter describes the implementation of the software part of the system. The algorithms for processing signals from sensors, the implementation of the alarm system logic, control of the relay and buzzer, as well as the integration of all components into a single system are considered. The principles of ensuring stable system operation in real time are described.

Keywords: smart home, MSP430, embedded systems, motion sensor, reed switch, relay, buzzer, alarm system.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	7
РОЗДІЛ 1 АНАЛІЗ СИСТЕМ РОЗУМНОГО БУДИНКУ ТА МІКРОКОНТРОЛЕРНИХ ПЛАТФОРМ	9
1.1 Поняття та принципи роботи систем розумного будинку	9
1.2 Основні компоненти систем розумного будинку	11
1.3 Використання мікроконтролерів у системах автоматизації	13
1.4 Аналіз популярних платформ для реалізації Smart Home	14
1.5 Переваги використання мікроконтролера MSP430	16
1.6 Аналіз датчиків і виконавчих пристроїв системи.....	17
РОЗДІЛ 2 ПРОЄКТУВАННЯ СЕРВІСНОГО ХАБУ РОЗУМНОГО БУДИНКУ ..	20
2.1 Загальна структура системи розумного будинку	20
2.2 Обґрунтування вибору апаратної платформи	21
2.3 Розробка структурної схеми системи	23
2.4 Апаратна реалізація системи	25
2.5 Розробка електричної схеми пристрою	29
2.6 Режим роботи системи	31
РОЗДІЛ 3 ПРОГРАМНА РЕАЛІЗАЦІЯ ТА ДОСЛІДЖЕННЯ СИСТЕМИ	35
3.1 Алгоритм роботи сервісного хабу	35
3.2 Розробка програмного забезпечення для MSP430.....	37
3.3 Реалізація керування освітленням через релейний модуль	41
3.4 Реалізація системи контролю безпеки	43
3.5 Тестування та експериментальні дослідження	46
3.6 Можливості модернізації системи	48
ВИСНОВКИ.....	51
ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	52

ВСТУП

У сучасних умовах розвитку інформаційних технологій особливого значення набувають системи автоматизації житлових приміщень, відомі як системи розумного будинку. Такі системи дозволяють здійснювати автоматичне керування побутовими пристроями, забезпечують підвищення рівня комфорту, енергоефективності та безпеки користувачів.

Одним із ключових елементів систем розумного будинку є сервісні хаби, які забезпечують обробку даних від датчиків та керування виконавчими пристроями. Надійність і швидкодія таких систем безпосередньо впливають на ефективність їх функціонування, особливо у задачах контролю безпеки, зокрема виявлення руху та контролю стану доступу до приміщення.

Водночас реалізація подібних систем часто супроводжується обмеженнями, пов'язаними з енергоспоживанням, складністю налаштування та вартістю обладнання. У зв'язку з цим актуальним є створення простих, автономних та енергоефективних рішень, що можуть бути реалізовані на базі мікроконтролерів.

Одним із підходів до вирішення цієї задачі є використання мікроконтролерів сімейства MSP430, які характеризуються низьким енергоспоживанням, достатньою обчислювальною потужністю та можливістю інтеграції з різними датчиками і виконавчими пристроями.

Актуальність роботи зумовлена необхідністю розробки ефективної та доступної системи розумного будинку, яка забезпечує базові функції автоматизації та контролю безпеки з урахуванням вимог до енергоефективності та простоти реалізації.

Метою даної роботи є розробка та дослідження сервісного хабу розумного будинку на базі мікроконтролера MSP430.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі задачі:

- провести аналіз систем розумного будинку;
- визначити основні вимоги до систем автоматизації;
- обґрунтувати вибір апаратної платформи;

- розробити структурну та електричну схеми пристрою;
- реалізувати програмне забезпечення системи;
- провести експериментальні дослідження роботи розробленої системи.

Об'єктом дослідження є системи автоматизації житлових приміщень.

Предметом дослідження є процеси керування освітленням та забезпечення безпеки у системах розумного будинку на базі мікроконтролерів.

Практичне значення отриманих результатів полягає у можливості використання розробленого сервісного хабу для автоматизації житлових приміщень та підвищення рівня їх безпеки.

РОЗДІЛ 1

АНАЛІЗ СИСТЕМ РОЗУМНОГО БУДИНКУ ТА МІКРОКОНТРОЛЕРНИХ ПЛАТФОРМ

1.1 Поняття та принципи роботи систем розумного будинку

Системи розумного будинку постають як новітній вектор у сфері житлової автоматизації, що передбачає об'єднання різнорідних електронних девайсів, сенсорів та пристроїв виконання у єдину систему, керовану централізовано. Головна мета таких рішень – покращення рівня зручності, захищеності та економії енергії завдяки автоматизованому чи віддаленому нагляду за інженерними мережами будівлі.

Концепція «розумний дім» охоплює сукупність апаратних засобів і програмного забезпечення, які відповідають за збір, переробку та аналізування відомостей про стан об'єкта, а також за формування відповідних керуючих розпоряджень. До таких розпоряджень можуть належати автоматичне увімкнення світла, регулювання теплового режиму, моніторинг доступу до приміщень та реагування на нештатні ситуації.

Принцип функціонування комплексу «розумний дім» ґрунтується на взаємодії трьох ключових елементів: сенсорів, управляючого блоку та виконавчих механізмів. Датчики виконують завдання збору первинної інформації із зовнішнього середовища, фіксуючи, наприклад, рух, температурні зміни, відчинення дверей чи вікон. Отримані дані направляються до головного контролера, який здійснює їхню обробку згідно з заздалегідь визначеним алгоритмом. На цій основі генеруються команди, які надходять до виконавчих пристроїв, таких як реле, світлові прилади або системи оповіщення [1].

Важливим моментом у роботі систем «розумного дому» є їхня здатність функціонувати у різних режимах. Зокрема, можна виділити автоматичний режим, коли система сама ухвалює рішення, орієнтуючись на дані від сенсорів, та ручний режим, де управління здійснюється безпосередньо користувачем. У сучасних

рішеннях також активно задіюється віддалене керування через мобільні застосунки чи мережеві інтерфейси.

Окрему увагу варто звернути на засади конструювання таких систем. Однією з фундаментальних засад є принцип модульності, що дозволяє додавати або замінювати окремі складові, не зачіпаючи загальну структуру. Іншим важливим принципом є масштабованість, яка дає змогу розширювати функціонал системи відповідно до потреб мешканців. Окрім того, суттєвими є такі якості, як надійність, енергоощадність та зручність з'єднання окремих модулів.

Сучасні системи «розумного помешкання» можуть бути реалізовані як на базі централізованої схеми, де всі елементи підключені до єдиного контролера, так і децентралізованої, де кожен компонент має свій контролер і здатний працювати незалежно. Централізовані варіанти вирізняються простотою керування, проте вони залежать від працездатності центрального вузла. Децентралізовані рішення є більш адаптивними та стійкими до відмов, але їх впровадження є складнішим.

Вирішальну роль у прогресі систем «розумного дому» відіграють бездротові технології, на кшталт Wi-Fi, Bluetooth, ZigBee та інші, які забезпечують комунікацію між частинами системи без потреби в прокладанні дротів. Це суттєво спрощує процес монтажу та знижує витрати на інсталяцію системи.

Незважаючи на очевидні переваги, системи «розумного помешкання» мають і певні недоліки. До них належать залежність від наявності електроенергії, потенційні збої у програмному забезпеченні, а також питання кібербезпеки, особливо при використанні мережевих підключень [2].

Таким чином, системи «розумного дому» є комплексними, інтегрованими рішеннями, які поєднують апаратні та програмні елементи для автоматизації житлових площ. Їхня ефективність визначається коректним вибором архітектури, компонентної бази та алгоритмічних засад роботи, що є критично важливим при проєктуванні власних рішень, зокрема сервісного хабу на основі мікроконтролера MSP430.

1.2 Основні компоненти систем розумного будинку

Системи розумного будинку складаються з збірки апаратних вузлів та програмного забезпечення, які забезпечують збір відомостей, їхнє опрацювання та виконання директивних дій. Наскільки якісно працюватиме така інсталяція, значною мірою визначається коректністю добору та об'єднання у спільну роботу її складових частин.

До першочергових блоків таких систем відносять: сенсори (датчики), керівні апарати (контролери), виконавчі пристрої, засоби комунікації та панелі для взаємодії з мешканцями.

Першою, і однією з найсуттєвіших, частин є саме датчики (сенсори), завданням яких є фіксація даних про оточуючий стан. Вони здатні визначати різноманітні показники, зокрема переміщення, тепловий режим, рівень освітлення, вологість, а також стан стулок дверей та вікон. Скажімо, інфрачервоні сенсори руху (PIR) дуже популярні для виявлення присутності осіб у приміщенні, тоді як сенсори на основі магніту дають змогу контролювати зачинені чи відчинені двері.

Наступним ключовим вузлом є керуючий апарат, або ж контролер, який виконує роль центрального мозку системи. Він відповідає за аналіз сигналів, отриманих з датчиків, і генерує команди для активації виконавчих механізмів. У сучасних рішеннях як центральні елементи застосовуються мікроконтролери чи повноцінні одноплатні комп'ютери. Вибір конкретного контролера зумовлюється складністю загальної інсталяції, вимогами до швидкодії та обсягом споживаної енергії [3].

Виконавчі механізми потрібні для того, щоб втілювати у життя ті накази, які згенерував контролер. До цієї групи входять модулі на базі реле, світильники, електродвигуни, звукові сповіщувачі та інші девайси. Наприклад, реле дає змогу вмикати або вимикати електроприлади, а звуковий сигнал може спрацювати для попередження про потенційну загрозу.

Вагому роль у функціоналі системи відіграють канали зв'язку, які забезпечують переміщення інформації між усіма елементами. Це можуть бути як

з'єднання через провідники, так і бездротові методи. Вибір способу комунікації залежить від потреб у швидкості передачі даних, радіусу дії та енергоефективності.

Ще однією необхідною складовою є панелі для взаємодії з користувачем, які надають змогу моніторити стан та впливати на роботу системи. До них відносять натискні кнопки, екрани, програми для смартфонів чи веб-інтерфейси. У простіших конфігураціях можуть використовуватися лише фізичні засоби управління, у той час як у більш розвинених – інтегровані програмні комплекси.

Для глибшого розуміння базових частин системи «розумний дім» слушно буде систематизувати їх у формі табличного представлення (табл. 1.1).

Таблиця 1.1 – Основні компоненти системи розумного будинку

Компонент	Призначення	Приклади
Датчики	Збір інформації про стан середовища	PIR, датчик дверей, температури
Контролер	Обробка даних та керування системою	MSP430, Arduino, Raspberry Pi
Виконавчі пристрої	Виконання команд системи	Реле, лампи, бузер
Засоби зв'язку	Передача даних між компонентами	Wi-Fi, Bluetooth, UART
Інтерфейс користувача	Керування та моніторинг системи	Кнопки, дисплей, мобільний додаток

У рамках цього дослідження значну увагу сконцентовано на таких вузлах, як сенсор руху, датчик положення дверей, релейний блок та акустичний сповіщувач. Завдяки цим складовим реалізуються фундаментальні можливості системи, зокрема автоматичне регулювання освітлювальних приладів та активація тривоги при фіксації руху, коли двері залишаються у зачиненому стані.

Отже, система «розумного дому» являє собою набір елементів, які функціонально пов'язані між собою, де кожен із них відповідає за певне завдання. Успішний підбір та об'єднання цих складових є вирішальним фактором для гарантування продуктивної, довговічної та стабільної експлуатації системи загалом.

1.3 Використання мікроконтролерів у системах автоматизації

Мікроконтролери становлять основу сучасних систем автоматизації, адже вони відповідають за опрацювання даних із сенсорів, виконання керуючих програм та генерацію сигналів для пристроїв виконання. Завдяки своїм невеликим розмірам, економному споживанню енергії та адекватній функціональності, вони знайшли широке застосування у вбудованих апаратурах різного призначення, зокрема у системах «розумного дому», промислових контролерах та робототехнічних комплексах.

На відміну від повноцінних обчислювальних машин, мікроконтролери вміщують центральний процесор, блоки пам'яті та периферійні комунікаційні засоби в одному корпусі. Це дає змогу створювати незалежні пристрої, які не потребують додаткових обчислювальних платформ. Внаслідок цього вони стають особливо вигідними для завдань, де вирішальне значення мають швидкість відгуку, енергоефективність та простота впровадження [4].

У системах автоматизації мікроконтролери виконують роль головного елемента керування. Вони зчитують сигнали від датчиків, обробляють їх згідно із заздалегідь визначеним алгоритмом та подають команди на пристрої виконання, на кшталт реле, світлодіодів, двигунів чи звукових оповіщувачів. Таким чином, забезпечується повний цикл автоматичного управління цим комплексом.

Сучасні мікроконтролерні пристрої підтримують велику кількість інтерфейсів, включаючи GPIO, UART, SPI, I2C, що спрощує їхнє з'єднання з різноманітними модулями та датчиками. Окрім того, вони здатні функціонувати у режимах зменшеного енергоспоживання, що є критично важливим для апаратури, яка живиться від батарей, або для систем, орієнтованих на енергозбереження.

Важливою перевагою, яку надають мікроконтролерні рішення, є можливість реалізувати складні логічні схеми виключно програмним шляхом, без потреби в апаратних змінах. Це дозволяє оперативно коригувати можливості пристрою шляхом оновлення програмного забезпечення, що є надзвичайно корисним у фазах проектування та тестування систем [5].

Якщо розглядати системи «розумного будинку», то мікроконтролери відповідають за такі функції як автоматичне регулювання освітлення, контроль доступу, виявлення руху та генерацію тривожних сигналів. Завдяки цьому вони дають змогу будувати компактні, автономні та ефективні системи, усуваючи потребу у використанні громіздких обчислювальних платформ.

Окремо варто згадати мікроконтролери лінійки MSP430, що вирізняються надзвичайно низьким енергоспоживанням та достатнім для багатьох завдань набором периферійних блоків. Це робить їх вдалим вибором для застосування у системах, де пріоритетом є тривала робота без підзарядки та надійна стабільність функціонування.

1.4 Аналіз популярних платформ для реалізації Smart Home

Сучасні системи автоматизації житла спираються на різноманітні апаратні бази, які різняться показниками швидкодії, витрат енергії, комплектності програмного забезпечення та фінансової складової. Вибір конкретної бази є одним із визначальних моментів, що формує структуру та потенціал майбутньої системи автоматизації.

Найчастіше для впровадження рішень «Розумний Дім» використовують плати на базі мікроконтролерів. Обидва напрямки мають свої сильні та слабкі сторони, які диктують, наскільки раціонально їх застосовувати для поставлених завдань.

Міні-комп'ютери на одній платі, як-от Raspberry Pi, вирізняються високою обчислювальною здатністю та спроможністю працювати під керуванням повноцінних операційних систем. Вони ідеальні для розбудови комплексних рішень, що вимагають взаємодії з мережею, розгортання веб-серверів та опрацювання великих обсягів даних. Проте, їхні мінуси – це значне споживання електроенергії та вища ціна [6].

Конструкції на основі мікроконтролерів, зокрема Arduino та STM32, простіші у застосуванні й краще підходять для керування сенсорами та виконавчими

механізмами. Вони гарантують швидку реакцію на події та демонструють менше енергоспоживання. Водночас, вони поступаються міні-комп'ютерам у переліку обчислювальних можливостей та функціоналу мережевих сервісів.

Окреме місце серед сімейства мікроконтролерів посідає лінійка MSP430, що вирізняється мінімальним поглинанням енергії та надійною працездатністю в незалежних (автономних) системах. Ця апаратна основа є найкращим вибором для пристроїв, які живляться від обмежених акумуляторів або мають функціонувати тривалий час без технічного втручання [7].

Для зіставлення ключових характеристик найпопулярніших апаратних баз доцільно представити оглядову таблицю (табл. 1.2).

Таблиця 1.2 – Порівняння платформ для Smart Home

Платформа	Продуктивність	Енергоспоживання	Складність	Вартість	Основне застосування
Raspberry Pi	Висока	Високе	Висока	Середня	Складні IoT-системи, сервери
Arduino	Середня	Низьке	Низька	Низька	Просте керування датчиками
STM32	Висока	Низьке	Середня	Середня	Промислова автоматизація
MSP430	Середня	Дуже низьке	Середня	Низька	Енергоефективні автономні системи

Аналіз показує, що для вбудованих систем «розумного дому», які охоплюють лише базове керування та моніторинг безпеки, доцільність використання саме мікроконтролерів є найвищою. Це зумовлено тим, що вони пропонують найкраще співвідношення потужності, витрат енергії та необхідної для впровадження складності. Наприклад, сімейство MSP430 являє собою вдалу опцію для незалежних установок, де пріоритетом є безперебійна робота та надзвичайно низьке споживання енергії.

З огляду на вищезазначене, рішення застосувати саме мікроконтролерну базу для проектування центрального вузла є цілком виправданим, оскільки воно повністю задовольняє вимогам стосовно економії енергії, стійкості роботи та спрощеного процесу втілення функціоналу системи «розумного дому».

1.5 Переваги використання мікроконтролера MSP430

Мікроконтролери сімейства MSP430, продукт компанії Texas Instruments, здобули значну популярність у вбудованих рішеннях завдяки їхній низькій потребі в енергії, нескладній структурі та надійній працездатності. Основним їхнім призначенням є забезпечення роботи пристроїв, що живляться від акумуляторів чи працюють тривалий час без підключення до мережі, що робить їх ідеальними кандидатами для рішень «розумного дому» та інших систем автоматизації.

Одна з найсильніших сторін MSP430 полягає у їхньому вражаюче мінімальному споживанні живлення. Мікроконтролери вміють переходити в численні режими глибокого сну, що дозволяє радикально економити заряд батареї, коли активні завдання відсутні. Це критично важливо для незалежних приладів, здатних функціонувати тривалий термін без обслуговування чи заміни джерела живлення.

Ще однією вагомою перевагою є продумана та ефективна апаратна реалізація. MSP430 базується на 16-розрядній RISC-парадигмі, що достатньо для виконання основних керуючих логік, при цьому зберігаючи показник низького енергоспоживання. Такий підхід спрощує втілення систем моніторингу сенсорів та управління виконавчими механізмами без потреби у потужних обчислювальних блоках.

Мікроконтролери MSP430 постачаються із широким спектром інтегрованих периферійних компонентів: цифрові входи/виходи, таймери, АЦП та різні інтерфейси зв'язку. Це усуває необхідність у додаванні зовнішніх мікросхем для прямого підключення датчиків чи актуаторів.

Також варто відзначити високу стійкість до збоїв та загальну надійність функціонування. Мікроконтролери сімейства MSP430 спроектовані для роботи у вбудованих і промислових системах, де критичною є тривала безперебійна експлуатація. Вони характеризуються низьким енергоспоживанням, стабільною роботою в широкому діапазоні умов та наявністю вбудованих засобів контролю, що дозволяє зменшити ризик відмов.

Завдяки цьому забезпечується коректне виконання програм навіть за наявності зовнішніх перешкод або нестабільного живлення, що підвищує загальну надійність і довговічність усієї системи.

Відтак, вони чудово підходять для систем моніторингу та безпеки, де критично необхідна оперативна реакція на зміну ситуації.

Не можна оминати увагою й простоту програмування та наявність зручних інструментальних засобів, наприклад, середовища Code Composer Studio. Це сприяє прискореному циклу розробки, тестування та пошуку помилок у ПЗ контролера, що є значним плюсом при створенні пілотних зразків та навчальних проєктів.

У контексті створення центрального вузла для «розумного дому», MSP430 виступає як збалансоване рішення, що поєднує енергоощадність, необхідну функціональність та відносно нескладну апаратну реалізацію. Це дає змогу побудувати самодостатню систему, здатну виконувати ключові функції автоматизації, як-от управління світлом чи забезпечення охорони периметру.

1.6 Аналіз датчиків і виконавчих пристроїв системи

Системи розумного будинку функціонують завдяки скоординованій роботі сенсорів та актуаторів, що збирають дані про оточення й виконують необхідні керуючі дії. Якість та коректний підбір цих складових безпосередньо визначають швидкість реакції, стійкість функціонування та загальний набір можливостей усієї інсталяції.

Сенсори в автоматизованих системах слугують первинним джерелом отримання інформації. У межах цього дослідницького проєкту задіяно два головні види датчиків: датчик виявлення руху та датчик визначення стану дверей. Датчик руху працює, фіксуючи інфрачервоне випромінювання від об'єктів у робочій зоні. При фіксації руху він генерує цифровий сигнал, який може бути прийнятий мікроконтролером для подальшого опрацювання й ухвалення рішень [8].

Магнітний герконовий датчик, що слугує для визначення стану дверей, дає змогу констатувати їхнє положення: відчинені чи зачинені. Його принцип дії полягає у зміні стану електричного кола під впливом магнітного поля. Це забезпечує простий та надійний метод контролю доступу до приміщення без необхідності у складних обчислювальних потугах.

Окрім сенсорів, ключову роль відіграють виконавчі механізми, які реалізують команди, що надходять від мікроконтролера. До них відносяться релейні модулі, світлодіодні індикатори та звукові сповіщувачі. Релейний модуль дає можливість керувати пристроями з підвищеним енергоспоживанням, зокрема освітленням, шляхом комутації електроланцюга. Це гарантує безпечну інтеграцію низьковольтної частини системи з побутовими електроприладами.

Світлодіоди функціонують як візуальні індикатори стану системи. Вони дають змогу графічно демонструвати різні робочі режими системи, наприклад, факт виявлення руху або поточний стан дверей. Завдяки мінімальному енергоспоживанню світлодіоди є вигідним варіантом для відображення інформації в незалежних системах [9].

Акустичні сповіщувачі застосовуються для генерації звукових тривожних сигналів або підтвердження виконання певних операцій. Вони можуть працювати як у режимі простого ввімкнення та вимкнення, так і з використанням модуляції частоти, що дозволяє формувати різноманітні звукові сигнали та патерни. Завдяки простоті підключення, низькому енергоспоживанню та достатній гучності бузери широко використовуються в мікроконтролерних системах, системах безпеки та автоматизованих пристроях. У межах даного проєкту акустичний сповіщувач використовується для оперативного інформування користувача про виникнення потенційно небезпечних або критичних ситуацій, а також для подачі сигналів про зміну стану системи.

Основні технічні характеристики ключових елементів системи наведено в таблиці 1.3.

Таблиця 1.3 – Датчики та виконавчі пристрої системи

Тип компонента	Пристрій	Призначення
Датчик руху	PIR HC-SR505	Виявлення руху в приміщенні
Датчик дверей	Герконовий датчик	Контроль відкриття/закриття дверей
Виконавчий пристрій	Релейний модуль	Керування освітленням
Індикація	Світлодіод	Відображення стану системи
Сигналізація	Бузер	Звукове оповіщення подій

Отож, коректний підбір сенсорів та актюаторів дає змогу втілити основні можливості системи «розумного дому», а саме: керування доступом, фіксацію руху та спрацювання сповіщувачів. Комплектація цих частин із мікроконтролером MSP430 дає змогу сформувати базову, стабільну й економну систему автоматизованого керування.

РОЗДІЛ 2

ПРОЄКТУВАННЯ СЕРВІСНОГО ХАБУ РОЗУМНОГО БУДИНКУ

2.1 Загальна структура системи розумного будинку

Центральний вузол управління «розумним будинком» являє собою апаратну платформу на базі мікроконтролера, розроблену з метою збору даних від сенсорів та формування команд для активуючих пристроїв, реагуючи на зміни параметрів оточення (рис. 2.1). Ключове завдання такого пристрою – надання базових можливостей автоматизації приміщення, а саме: контроль доступу та автоматичне регулювання освітлення.

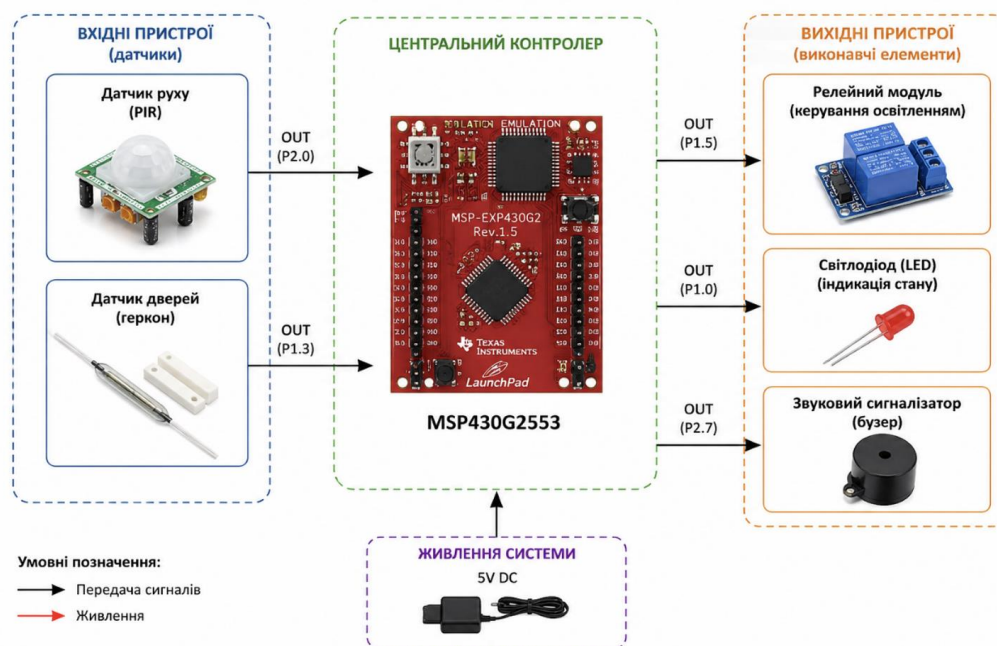


Рисунок 2.1 – Загальна структура системи розумного будинку

Конструктивно ця апаратура формується із кількох взаємопов'язаних логічних блоків. Ядром системи виступає контролер MSP430G2553, відповідальний за обробку вхідної інформації та генерацію керуючих імпульсів. До вхідних портів цього контролера підключаються сенсори, які надають відомості про стан об'єкта, а до вихідних – актуатори, що втілюють необхідні дії.

PIR, магнітний контакт для фіксації стану дверей, а також елементи впливу: релейний блок, світлодіодний індикатор та акустичний сповіщувач. Датчик руху

служить для детектування присутності осіб у зоні моніторингу, тоді як геркон інформує про положення дверей. Зібрані дані надходять до мікроконтролера для аналізу згідно з попередньо заданим порядком дій [10].

Актuatorи забезпечують фізичну реакцію системи на зафіксовані події. Релейний модуль призначений для комутації потужнішого навантаження, наприклад, системи освітлення; світлодіод використовується для візуальної сигналізації поточного статусу системи, а зумер – для звукового оповіщення у разі виникнення тривожної ситуації.

Загальна логіка роботи пристрою охоплює два основні режими. Якщо двері залишаються зачиненими, система функціонує як охоронний модуль. При виявленні руху в цьому режимі активуються звукова та світлова тривожні сигналізації. Якщо ж двері відчинені, система переходить у режим автоматичного освітлення, де наявність руху призводить до вмикання світла через релейний інтегратор.

Таким чином, запропонована структура забезпечує інтеграцію сенсорних і виконавчих компонентів у єдину систему керування, що дозволяє реалізувати базові функції розумного будинку з мінімальними апаратними затратами.

2.2 Обґрунтування вибору апаратної платформи

Під час створення центру обслуговування для систем «розумного дому» одним із вирішальних кроків є визначення апаратної основи, яка забезпечить обробку даних від сенсорів та керування активуючими елементами. Для виконання цього завдання було обрано мікроконтролер MSP430G2553, що є частиною тестового комплекту MSP-EXP430G2 LaunchPad [11].

Рішення на користь цієї апаратури було прийнято з огляду на сукупність технічних та експлуатаційних факторів. Насамперед, мікроконтролери серії MSP430 вирізняються низьким рівнем енергоспоживання, що має значну вагу для «розумних» систем, які часто потребують автономного функціонування. Додатково, MSP430G2553 надає достатній обсяг контактів вводу/виводу для

підключення усіх необхідних складових системи, включаючи детектор руху, сенсор дверей, модуль реле, світлодіодний індикатор та звуковий сповіщувач [12].

Під час відбору також проводився аналіз інших альтернатив, як-от Arduino Uno та ESP32 (табл. 2.1). Arduino Uno є поширеним рішенням для навчальних цілей та швидкого прототипування, проте в даному контексті його потужності є надмірними, а енергоспоживання – вищим. Платформа ESP32, зі свого боку, пропонує розширений набір можливостей, зокрема інтегровані бездротові інтерфейси, але для базового функціонування цього сервісного хаба ці функції не є життєво необхідними, що робить її впровадження менш виправданим.

Таблиця 2.1 – Порівняння апаратних платформ

Характеристика	MSP430G2553	Arduino Uno	ESP32
Тип мікроконтролера	16-біт	8-біт	32-біт
Тактова частота	до 16 МГц	16 МГц	до 240 МГц
Енергоспоживання	Дуже низьке	Середнє	Високе
Кількість GPIO	Достатня (до 24)	~20	>30
Наявність Wi-Fi/Bluetooth	Ні	Ні	Так
Складність використання	Середня	Низька	Висока
Контроль апаратури	Повний (через регістри)	Через бібліотеки	Через SDK
Доцільність для проекту	Висока	Середня	Низька (надлишкова)

Практичний досвід роботи з MSP430G2553 також суттєво вплинув на остаточний вибір. На початковій стадії виникали певні складнощі з налаштуванням програмного середовища та завантаженням мікропрограми у мікроконтролер, особливо при використанні різних засобів програмування. Проте, після успішного налаштування робочого середовища, процес кодування та перевірки став стабільним та передбачуваним. Це дозволило організувати ефективний цикл розробки, який охоплює написання коду, його компіляцію, прошивку та валідацію роботи всієї системи (рис. 2.2).

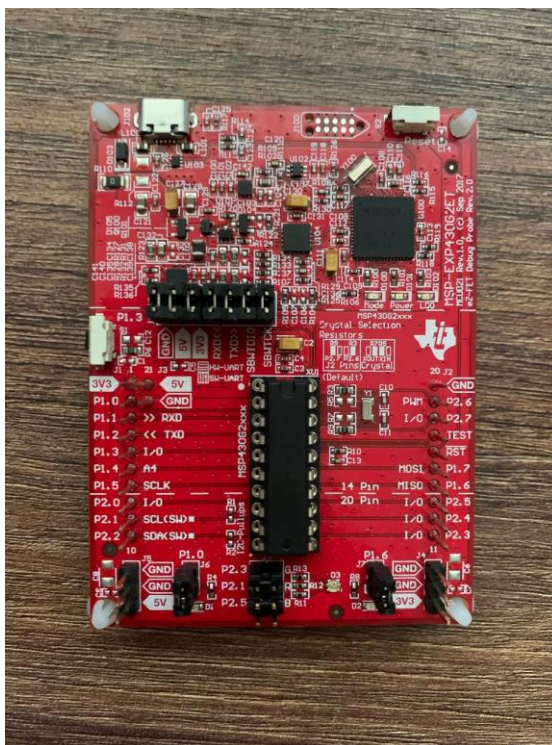


Рисунок 2.2 – Плата MSP430 LaunchPad [14]

Окремо варто виділити зручність роботи з інтерфейсами вводу/виводу MSP430. Простота конфігурації відповідних регістрів дає змогу оперативно реалізувати обмін даними із сенсорами та виконавчими пристроями без потреби у залученні сторонніх програмних бібліотек, що є перевагою з погляду контролю над фізичною складовою системи.

2.3 Розробка структурної схеми системи

Спираючись на встановлену загальну архітектуру системи, було вибудовано структурну діаграму вузла обслуговування «розумного» помешкання, де відображено взаємозв'язки між ключовими модулями та напрямки проходження сигналів між ними. Ця схема слугує важливим кроком у процесі проектування, оскільки дає можливість сформулювати ясну уяву про принципи роботи системи та взаємодію її складових частин [13].

Апаратна частина системи складається з приймальних пристроїв, центрального контрольного вузла та активних елементів. Вхідний блок представлений сенсором руху та сенсором відчинення дверей, які генерують

цифрові сигнали, залежно від поточних умов оточення. Сигнали, отримані від сенсорів, надходять до мікроконтролера, де вони піддаються обробці відповідно до заздалегідь визначеного алгоритму.

Ядром системи виступає мікроконтролер MSP430G2553, який відповідає за загальне керування. Він безперервно сканує входи, проводить аналіз зібраних даних та формує відповідні команди для вихідних пристроїв. Завдяки такому методу досягається постійний моніторинг стану системи та забезпечується швидка реакція на будь-які зміни [15].

Вихідний сегмент системи охоплює релейний блок, світлодіодний індикатор та звуковий сповіщувач. Релейний модуль призначений для управління зовнішніми навантаженнями, зокрема, системою освітлення; світлодіод слугує для візуальної індикації поточного стану системи, а зумер – для генерації звукових попереджень у разі виникнення будь-якої тривожної ситуації.

Під час розробки структурної діаграми було встановлено відповідність між фізичними компонентами та виводами мікроконтролера. Сенсор руху прив'язано до порту P2.0, сенсор дверей – до порту P1.3, релейний модуль – до порту P1.5, світлодіод – до порту P1.0, а звуковий сигналізатор – до порту P2.7 (табл. 2.2). Такий розподіл значно спрощує програмну реалізацію та полегшує процес відлагодження системи.

Таблиця 2.2 – Призначення портів мікроконтролера

Порт MSP430	Підключений елемент	Тип сигналу	Призначення
P2.0	Датчик руху (PIR)	Вхід	Виявлення руху
P1.3	Датчик дверей (геркон)	Вхід	Контроль стану дверей
P1.5	Релейний модуль	Вихід	Керування освітленням
P1.0	Світлодіод (LED)	Вихід	Світлова індикація
P2.7	Звуковий сигналізатор	Вихід	Звукове оповіщення

На практиці було доведено, що найбільш дієвим є покроковий підхід до побудови всієї системи. Спочатку необхідно верифікувати роботу самого мікроконтролера та його окремих портів, після чого послідовно підключати

сенсори та виконавчі пристрої, тестуючи функціональність кожного елемента окремо. Лише після цього здійснюється повне об'єднання всіх модулів в єдиний комплекс. Ця методика дозволила уникнути помилок, що часто виникають при одночасному підключенні великого масиву пристроїв, та істотно спростила процедуру налаштування (рис. 2.3).

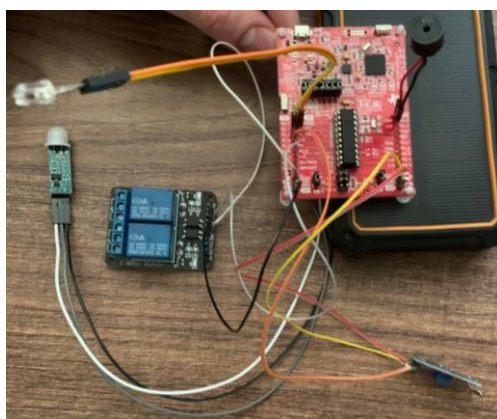


Рисунок 2.3 – Підключення всіх датчиків до MSP430

Сформована у результаті структурна схема забезпечує критично важливе, чітке розуміння логіки функціонування системи та слугує надійною базою для наступного етапу – проєктування електричної схеми та розробки програмного забезпечення.

2.4 Апаратна реалізація системи

Виконання апаратної частини сервісного вузла системи «розумний дім» базувалося на використанні плати мікроконтролера MSP430 LaunchPad, до якої компоненти системи приєднували послідовно, крок за кроком. Цей метод дав змогу досягти надійної роботи пристрою та оперативного виявлення й виправлення недоліків на кожній стадії розробки.

На першому етапі була здійснена перевірка функціональності самого мікроконтролера та його портів вводу/виводу. Для цього застосовувалися тестові програми, зокрема ті, що керували вбудованим світлодіодом. Це дало змогу

підтвердити коректність налаштування робочого середовища та стабільність завантаженого програмного коду (рис. 2.4).



Рисунок 2.4 – Плата MSP430 LaunchPad

Далі відбулося підключення сенсора руху. Цей модуль має три основні клеми: живлення, спільна «земля» та вихідний сигнал. Під час підключення з'ясувалося, що датчик вимагає стабілізованого живлення, оскільки коливання напруги можуть викликати хибні спрацьовування. Сигнальний вихід був з'єднаний з портом мікроконтролера, після чого проводилося тестування шляхом зчитування логічного рівня (рис. 2.5). На початкових етапах спостерігалася нестабільність показників, що було зумовлене специфікою роботи датчика та необхідністю його короткочасної ініціалізації після подачі живлення [16].



Рисунок 2.5 – Підключення PIR датчика

Наступним кроком було приєднання сенсора відкриття дверей. Цей елемент функціонує за принципом замикання електричного кола під впливом магнітного

поля. У процесі впровадження був задіяний підтягуючий резистор, що забезпечило стійкий логічний рівень на входному каналі мікроконтролера. Без використання підтяжки сигнал мав «плаваючий» характер, що унеможливлювало точне визначення стану дверей (рис. 2.6) [17].

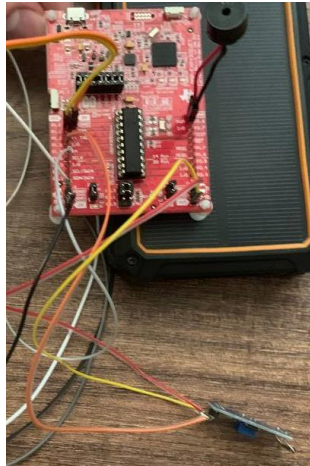


Рисунок 2.6 – Підключення датчика дверей

Після успішного налаштування входних компонентів розпочалося під'єднання елементів керування. Релейний модуль підключався з урахуванням його специфічної риси – інверсної логіки управління. Це означає, що для активації реле необхідно подати логічний «нуль», що було враховано як у фізичній схемі, так і в програмному забезпеченні. На початку цей момент створював певні незручності, бо очікувана реакція не збігалася з реальною, але після детального аналізу були внесені відповідні виправлення (рис. 2.7).

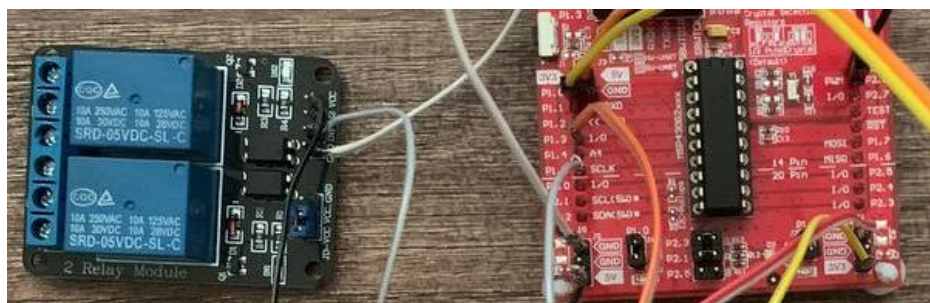


Рисунок 2.7 – Підключення релейного модуля

Світлодіод був з'єднаний через резистор, який обмежує струм, аби запобігти його виходу з ладу. Він слугував для візуальної індикації стану системи під час відлагодження, що значно спростило процес налаштування. Звуковий сповіщувач був підключений безпосередньо до одного з вихідних портів мікроконтролера і використовувався для генерації сигналу тривоги (рис 2.8).



Рисунок 2.8 – Підключення LED та бузера

У процесі реалізації апаратної частини надзвичайно важливим був саме поетапний підхід. Кожен датчик чи пристрій підключався окремо, проходив тестування, і лише після цього інтегрувався у загальний пристрій. Завдяки такому методу вдалося уникнути ситуацій, коли збій в одному елементі спричиняє некоректну роботу всієї системи.

Практична робота довела, що найчастіше виникали проблеми, пов'язані з нестабільністю вихідних сигналів, неправильним з'єднанням контактів та особливостями роботи окремих модулів. Однак їхнє послідовне усунення дозволило сформувати надійну та функціональну систему.

Як фінальний результат, було створено апаратну основу сервісного вузла, яка гарантує коректну взаємодію між сенсорами, мікроконтролером та виконавчими механізмами, що є критично важливим базисом для подальшої розробки програмного забезпечення системи.

2.5 Розробка електричної схеми пристрою

Виходячи з аналізу структурної архітектури та вже втіленої апаратної частини, було створено електричну топологію сервісного вузла для інтелектуального будинку, яка відображає усі необхідні взаємозв'язки між елементами системи та гарантує їхню злагоджену роботу.

Ця електрична розводка включає однокристальний контролер MSP430G2553, сенсор присутності, датчик розімкнення дверного отвору, комутаційний блок на реле, світлодіодний індикатор та акустичний сповіщувач. Усі складові елементи об'єднані спільною лінією живлення та нульовим провідником, що сприяє надійності функціонування всього комплексу.

Енергозабезпечення системи реалізовано через USB-інтерфейс за допомогою плати MSP430 LaunchPad. Для живлення релейного блоку та PIR-сенсора застосовується напруга 5 В, тоді як цифрові керуючі сигнали від мікроконтролера функціонують на рівні 3.3 В. Цей нюанс було обов'язково враховано під час комутації апаратури для забезпечення їхньої повної сумісності.

Сигнальний вихід сенсора руху з'єднаний з вхідним піном контролера таким чином, що при фіксації руху на цей вхід надходить високий логічний рівень, який потім інтерпретується програмним забезпеченням. Критично важливим моментом є забезпечення стабільного живлення для цього датчика, оскільки його нестача може спровокувати хибні спрацювання (рис. 2.9).

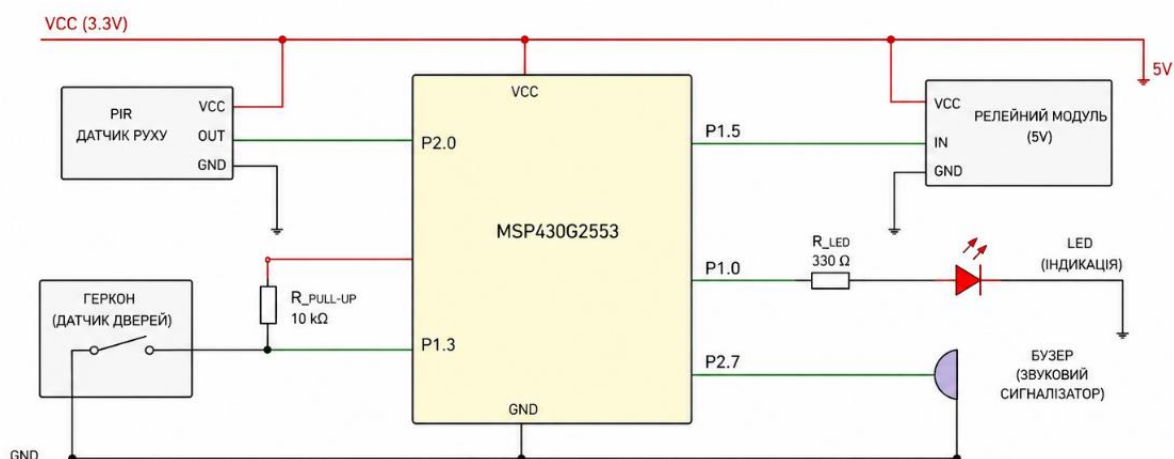


Рисунок 2.9 – Повна електрична схема сервісного хабу

Герконовий датчик зміни положення дверей інтегровано до входу мікросхеми з використанням внутрішнього або зовнішнього підтягуючого резистора. У стані спокою на вході підтримується високий логічний рівень, а при розмиканні контактів – низький. Така конфігурація унеможливило хитання сигналу, забезпечуючи його чіткість.

Комутаційний модуль на реле підключається до визначеного вихідного порту контролера і управляється цифровим імпульсом. Слід відзначити його інверсний принцип спрацьовування: активація самого реле відбувається при поданні на вхід низького логічного рівня. Це обумовило необхідність відповідної корекції у програмному коді для коректного управління підключеним навантаженням (рис. 2.10).

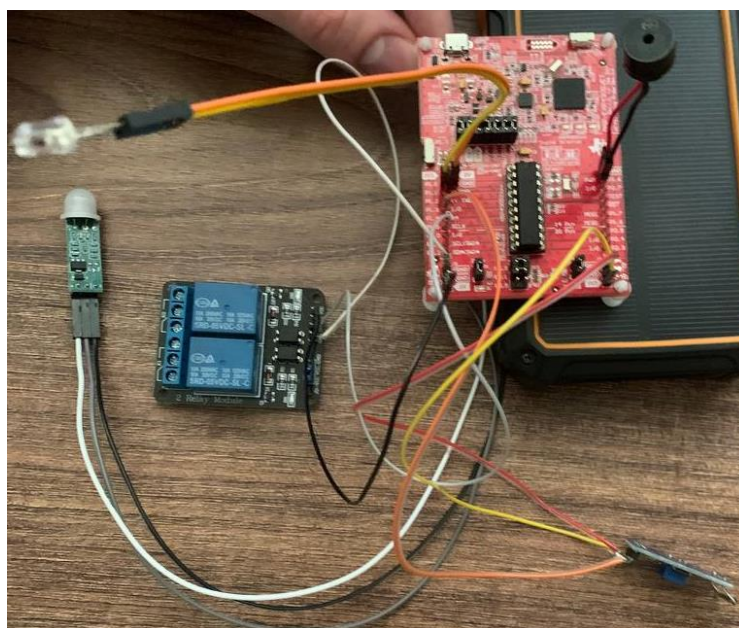


Рисунок 2.10 – Зібрана схема на макетній платі

Оптичний індикатор включений у напівпровідниковий ланцюг через резистивний елемент, який обмежує струм до безпечного значення, запобігаючи виходу з ладу LED. Він слугує для візуалізації ключових подій у системі, насамперед – моменту детектування руху.

Акустичний сигналізатор з'єднаний з одним із виводів мікроконтролера і призначений для генерації тривожного сигналу. На етапі проєктування було

з'ясовано, що для надійної роботи зумера необхідно брати до уваги його специфікацію та вихідні параметри піна МК, адже недостатня сила струму може призвести до слабкої чи повної відсутності звукового сигналу (табл. 2.3).

Таблиця 2.3 – Основні електричні параметри компонентів

Компонент	Напруга живлення	Тип сигналу	Струм (типовий)	Спосіб підключення / Особливості
MSP430G2553	3,3 В	Цифровий	–	Центральний керуючий елемент
PIR датчик	5 В	Цифровий	50-70 мА	Вхід мікроконтролера
Геркон	3,3 В	Цифровий	<1 мА	Р1.3 з підтягуючим резистором
Релейний модуль	5 В	Цифровий	70-90 мА	Інверсна логіка, активний LOW
Світлодіод	Від порту (3,3 В)	Цифровий	2-5 мА	Через резистор
Бuzzer	Від порту (3,3 В)	Цифровий	5-15 мА	Бuzzer

При проектуванні електричної схеми значну увагу було приділено правильності формування ланцюгів живлення, узгодженню логічних рівнів сигналів та превентивному усуненню можливості виникнення коротких замикань. Контроль працездатності схеми проводився поетапно, що дозволило оперативно знаходити й усувати різноманітні недоліки.

Сформована електрична схема гарантує адекватне функціонування усіх вузлів системи та виступає надійною базою для її безперебійної експлуатації.

2.6 Режим роботи системи

Функціонування обслуговуючого центру «розумного помешкання» спирається на неупинне стеження за станом сенсорів та генерацію відповідної відповіді керуючими елементами. Агрегат працює у режимі перманентного опитування вхідних даних мікроконтролера, що дає змогу блискавично реагувати на будь-яку зміну в контрольованих об'єктах.

В основу роботи покладено аналіз двох первинних сигналів: показника присутності руху та стану входних дверей. Виходячи з їхньої комбінації, апаратура переходить у відповідну робочу конфігурацію та виконує заздалегідь визначені дії [18].

У стандартному стані, якщо присутності руху, як то кажуть, «незафіксовано», устаткування перебуває у фазі очікування. Усі керуючі прилади знеструмлені, що гарантує ощадливе використання енергії та унеможлиблює надлишкові активації. При виявленні руху апаратура оцінює співстан дверей і формує наступний алгоритм дій (рис. 2.11).

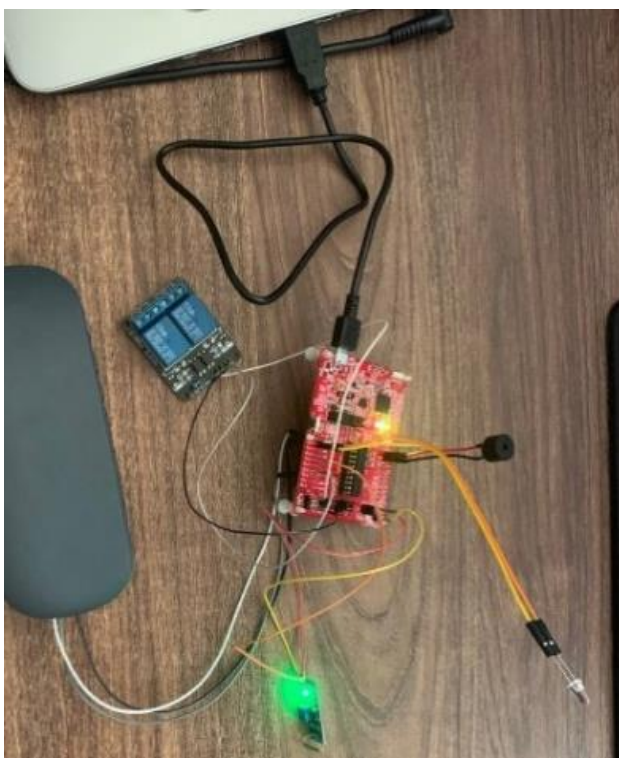


Рисунок 2.11 – Робота системи в режимі підключення живлення

Коли ж двері відчинені, і водночас реєструється рух, система ініціює світловий режим. У цій ситуації задіюється релейний блок, який увімкне освітлення, і додатково може увімкнутися світлодіод, як візуальний індикатор роботи. Такий режим забезпечує комфортне перебування в приміщенні (рис. 2.12).

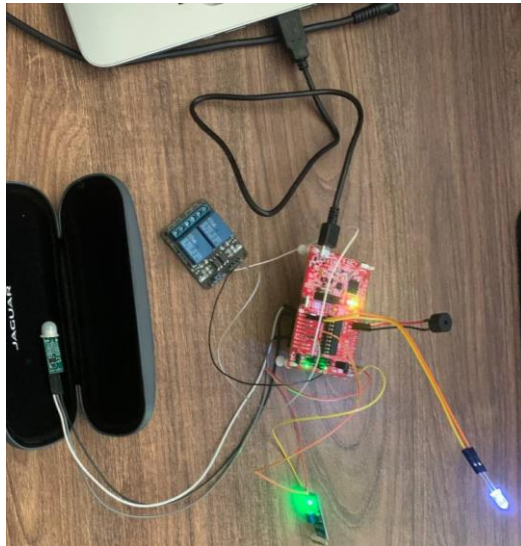


Рисунок 2.12 – Робота системи в режимі освітлення

Якщо ж двері заблоковані і виявлено рух, устаткування активує режим оповіщення. У такому випадку спрацює звуковий сповіщувач та світлодіод, що слугують сигналом про потенційне несанкціоноване проникнення. Цей режим має першочергове значення для забезпечення безпеки (рис. 2.13)



Рисунок 2.13 – Робота системи в режимі тривоги

Після припинення фіксації руху пристрій повертається до початкового режиму очікування (табл. 2.4). Усі керуючі пристрої деактивуються, що

унеможливилює надмірне споживання електроенергії та продовжує термін служби цих складових.

Таблиця 2.4 – Режими роботи системи

Стан дверей	Рух	Режим роботи	Дії системи
Закриті	Ні	Очікування	Всі пристрої вимкнені
Відкриті	Ні	Очікування	Всі пристрої вимкнені
Відкриті	Так	Освітлення	Увімкнення реле та LED
Закриті	Так	Тривога	Увімкнення бузера та LED

Впровадження даної послідовності режимів було досягнуто завдяки використанню умовних конструкцій у програмному забезпеченні, що дозволяє гнучко трансформувати логіку роботи устаткування залежно від отримуваних сигналів. Практична перевірка продемонструвала, що ця логіка є цілком надійною і відповідає заявленим вимогам [19].

РОЗДІЛ 3

ПРОГРАМНА РЕАЛІЗАЦІЯ ТА ДОСЛІДЖЕННЯ СИСТЕМИ

3.1 Алгоритм роботи сервісного хабу

Алгоритм роботи системи розумного будинку базується на циклічному опитуванні стану датчиків та прийнятті рішень у реальному часі мікроконтролером MSP430G2553. Основна логіка реалізована в нескінченному циклі `while(1)`, що забезпечує постійний контроль станів входів та керування вихідними пристроями без затримок.

Після запуску системи відбувається ініціалізація портів мікроконтролера: налаштування напрямків входів/виходів та початкових станів виконавчих пристроїв. Далі система переходить у режим безперервного моніторингу датчика руху PIR та датчика дверей (геркон).

Алгоритм роботи системи передбачає два основні сценарії. У випадку, коли двері закриті, система переходить у режим охорони (лістинг 3.1). При виявленні руху датчиком PIR активується світлова та звукова сигналізація. Якщо рух відсутній, система знаходиться у стані очікування без активації виконавчих пристроїв.

Лістинг 3.1 – Зчитування стану дверей та руху

```
unsigned char door = (P1IN & D00R);
unsigned char motion = (P2IN & PIR);
```

кінець лістингу 3.1

У даному фрагменті програми (лістинг 3.2) здійснюється зчитування логічних рівнів із портів P1.3 та P2.0 мікроконтролера. Зокрема, порт P1.3 використовується для визначення стану дверей (відкриті або зачинені), тоді як порт P2.0 відповідає за фіксацію наявності руху в контрольованій зоні. Отримані значення аналізуються програмою для подальшого прийняття рішень щодо реакції системи, наприклад, формування сигналу тривоги або активації відповідних виконавчих пристроїв.

 Лістинг 3.2 – Логіка розгалуження залежно від стану дверей

```

if(door != lastDoor)
{
    P1OUT &= ~LED;
    P2OUT &= ~BUZZER;
    lastDoor = door;
    counter = 0;
}
  
```

кінець лістингу 3.2

Наступний фрагмент коду забезпечує миттєву реакцію системи на зміну стану дверей та скидання попередніх станів виконавчих пристроїв, що запобігає некоректній роботі логіки (лістинг 3.3).

 Лістинг 3.3 – Режим закритих дверей при виявленні руху

```

if(!door && motion)
{
    P1OUT ^= LED;
    P2OUT ^= BUZZER;
}
  
```

кінець лістингу 3.3

У цьому режимі світлодіод починає мигати, а буюер генерує звуковий сигнал, що означає спрацювання охоронного режиму. Для реалізації періодичного миготіння світлодіода та формування звукового сигналу використовується таймер мікроконтролера.

Це забезпечує стабільну роботу системи та зменшує навантаження на центральний процесор, оскільки більшість часових операцій виконується апаратними засобами мікроконтролера.

У цьому випадку світлодіод вмикається постійно, а звукова сигналізація вимкнена, що відповідає режиму звичайної роботи системи (лістинг 3.4).

 Лістинг 3.4 – Керування освітленням

```

if(door && motion)
{
    P1OUT |= LED;
    P2OUT &= ~BUZZER;
}
  
```

кінець лістингу 3.4

Таким чином, алгоритм роботи системи базується на простій, але ефективній логіці умовних операторів, що дозволяє забезпечити швидку реакцію на зміну стану датчиків та стабільну роботу всієї системи в режимі реального часу.

3.2 Розробка програмного забезпечення для MSP430

Програмне забезпечення системи розумного будинку розроблено мовою C для мікроконтролера MSP430G2553 та реалізує безперервний цикл опитування датчиків із формуванням керуючих сигналів для.

Основою роботи є нескінченний цикл `while(1)`, який забезпечує постійний контроль стану системи в режимі реального часу.

На початку виконання програми відбувається зупинка Watchdog таймера та налаштування напрямків портів (лістинг 3.5).

 Лістинг 3.5 – Фрагмент коду зупинка Watchdog таймера

```

WDTCTL = WDTPW | WDTHOLD; // зупинка Watchdog
  
```

кінець лістингу 3.5

Далі відбувається налаштування вихідних пристроїв (лістинг 3.6).

 Лістинг 3.6 – Фрагмент коду встановлює порти як виходи

```

P1DIR |= LED | RELAY;
P2DIR |= BUZZER;
  
```

кінець лістингу 3.6

Цей фрагмент встановлює порти P1.0, P1.5 та P2.7 як виходи для керування світлодіодом, реле та бузером.

Початкові стани пристроїв задаються наступним чином (лістинг 3.7).

Лістинг 3.7 – Фрагмент коду початкові стани пристроїв

```
P1OUT &= ~LED;
P2OUT &= ~BUZZER;
P1OUT |= RELAY;
```

кінець лістингу 3.7

Датчик дверей підключений до порту P1.3 та налаштовується як вхід із внутрішнім підтягувальним резистором (лістинг 3.8). Це забезпечує стабільний логічний рівень «1» у спокійному стані та запобігає появі плаваючого сигналу. При спрацюванні датчика на вході формується «0», що дозволяє мікроконтролеру фіксувати зміну стану дверей і виконувати відповідні дії.

Лістинг 3.8 – Фрагмент коду підключення дверей

```
P1DIR &= ~DOOR;
P1REN |= DOOR;
P1OUT |= DOOR;
```

кінець лістингу 3.8

Це дозволяє уникнути «плаваючого» сигналу на вході при розімкненому стані геркона.

Датчик руху PIR підключений до порту P2.0 (лістинг 3.9).

Лістинг 3.9 – Фрагмент коду підключення PIR

```
P2DIR &= ~PIR;
```

кінець лістингу 3.9

У головному циклі програми виконується постійне зчитування станів (лістинг 3.10).

 Лістинг 3.10 – Фрагмент коду підключення постійного зчитування станів

```
unsigned char door = (P1IN & DOOR);
```

```
unsigned char motion = (P2IN & PIR);
```

 кінець лістингу 3.10

Цей фрагмент коду дозволяє визначити поточний стан дверей та наявність руху в зоні дії PIR датчика.

Для уникнення некоректної роботи системи реалізовано перевірку зміни стану дверей (лістинг 3.11). Такий підхід дозволяє своєчасно виявляти зміну логічного рівня на вході та реагувати лише на фактичні події, ігноруючи можливі завади або короточасні коливання сигналу. Це підвищує стабільність роботи системи та зменшує ймовірність хибних спрацювань.

 Лістинг 3.11 – Фрагмент коду перевірки зміни стану дверей

```
if(door != lastDoor)
```

```
{
```

```
    P1OUT &= ~LED;
```

```
    P2OUT &= ~BUZZER;
```

```
    counter = 0;
```

```
    lastDoor = door;
```

```
}
```

 кінець лістингу 3.11

У разі зміни стану дверей відбувається скидання всіх активних виходів, що забезпечує коректний перехід між режимами роботи системи.

У цьому режимі роботи система переходить у активний стан реагування на події: при виявленні руху відповідним датчиком ініціюється миготіння світлодіода, а також вмикається звукова сигналізація.

Це дозволяє одночасно забезпечити як візуальне, так і акустичне сповіщення про наявність руху в контрольованій зоні. Для формування періодичного характеру сигналів використовується програмний лічильник, який забезпечує затримки між

увімкненням та вимкненням світлодіода і бузера, створюючи ефект миготіння та переривчастого звучання. Реалізація даного режиму наведена у лістингу 3.12.

Лістинг 3.12 – Фрагмент коду режим закритих дверей

```
if(!door && motion)
    counter++;
    if(counter > 500)
        P1OUT ^= LED;
        P2OUT ^= BUZZER;
        counter = 0;
```

кінець лістингу 3.12

У цьому режимі роботи системи світлодіод перебуває у постійно ввімкненому стані. Такий режим може використовуватися як індикатор чергового стану системи, коли вона працює без виявлення тривожних подій. Реалізацію даної логіки роботи наведено у лістингу 3.13.

Лістинг 3.13 – Фрагмент коду режиму відкритих дверей

```
else if(door && motion)
    P1OUT |= LED;
    P2OUT &= ~BUZZER;
    counter = 0;
```

кінець лістингу 3.13

При відсутності руху система переходить у стан очікування (лістинг 3.14).

Лістинг 3.14 – Фрагмент коду режиму відсутності руху

```
else
    P1OUT &= ~LED;
    P2OUT &= ~BUZZER;
    counter = 0;
```

кінець лістингу 3.14

Уся логіка роботи системи реалізується всередині нескінченного циклу, що забезпечує безперервне виконання програми протягом усього часу її функціонування. Завдяки такому підходу мікроконтролер постійно здійснює опитування датчиків, аналізує їхній стан та оперативно реагує на зміни, що виникають у системі. Це дозволяє уникнути необхідності зовнішнього запуску або перезапуску алгоритму, оскільки всі процеси відбуваються автоматично в реальному часі. Детальніше структура та реалізація цього підходу наведені у лістингу 3.15.

Лістинг 3.15 – Фрагмент коду, основний цикл програми

```
while(1)
{
    // зчитування датчиків
    // обробка логіки
    // керування виходами
}
```

кінець лістингу 3.15

Розроблене програмне забезпечення реалізує повністю автономну систему керування розумним будинком на базі MSP430G2553. Завдяки простій структурі та чіткому поділу логіки забезпечується швидка реакція на події, стабільна робота та мінімальне споживання ресурсів мікроконтролера.

3.3 Реалізація керування освітленням через релейний модуль

Керування освітленням у системі розумного будинку реалізовано за допомогою релейного модуля, підключеного до порту P1.5 мікроконтролера MSP430G2553. Реле використовується як силовий виконавчий елемент, що дозволяє комутувати зовнішнє навантаження за сигналами від мікроконтролера.

Особливістю використаного релейного модуля є робота в режимі активного низького рівня, тобто активація відбувається при подачі логічного «0» на вхід IN1. Це необхідно враховувати при програмній реалізації керування (лістинг 3.16).

Лістинг 3.16 – Фрагмент коду, ініціалізація реле

```
P1DIR |= RELAY;    // P1.5 як вихід
P1OUT |= RELAY;    // реле вимкнене (OFF)
```

кінець лістингу 3.16

У даному фрагменті порт P1.5 налаштовується як вихідний. Початковий стан встановлюється у логічну «1», що відповідає вимкненому стану реле, оскільки модуль активується низьким рівнем (лістинг 3.17).

Лістинг 3.17 – Фрагмент коду ,вимкнення/увімкнення освітлення

```
P1OUT &= ~RELAY;  // реле ON (лампа увімкнена)
P1OUT |= RELAY;   // реле OFF (лампа вимкнена)
```

кінець лістингу 3.17

Даний фрагмент реалізує логіку керування освітленням. При встановленні логічного «0» на P1.5 релейний модуль активується, що призводить до увімкнення лампи. При встановленні логічної «1» реле вимикається (лістинг 3.18).

Лістинг 3.18 – Фрагмент коду, логіка роботи в програмі

```
if(!door)
    P1OUT &= ~RELAY;  // режим охорони
else
    P1OUT |= RELAY;   // звичайний режим
```

кінець лістингу 3.18

У даному фрагменті реалізовано логіку керування освітленням залежно від стану дверей. При закритих дверях система переходить у режим охорони, де

керування реле може бути обмежене або переведене в безпечний стан. При відкритих дверях реле переводиться у стандартний режим роботи (лістинг 3.19).

Лістинг 3.19 – Фрагмент коду, робота разом із датчиком руху

```
if(door && motion)
{
    P1OUT |= RELAY;    // лампа ON
}
```

кінець лістингу 3.19

У режимі відкритих дверей при виявленні руху система активує реле, що призводить до увімкнення освітлення. Це дозволяє реалізувати функцію автоматичного освітлення приміщення.

Релейний модуль виконує роль проміжного силового елемента між низьковольтною логікою мікроконтролера та навантаженням змінного струму. Завдяки використанню оптоізоляції забезпечується електрична розв'язка між керуючою та силовою частинами системи, що підвищує її безпеку та стабільність.

Керування здійснюється через один цифровий вихід P1.5, що спрощує апаратну реалізацію та зменшує кількість необхідних компонентів. Логіка роботи реле повністю визначається програмним кодом мікроконтролера, що дозволяє змінювати поведінку системи без апаратних модифікацій.

3.4 Реалізація системи контролю безпеки

Основна логіка безпеки полягає у розрізненні двох сценаріїв: охоронного режиму та звичайного режиму.

У залежності від комбінації вхідних сигналів система формує відповідну реакцію у вигляді світлової та звукової індикації (лістинг 3.20). Даний фрагмент коду відповідає за отримання інформації про поточний стан дверей та наявність руху.

 Лістинг 3.20 – Фрагмент коду, зчитування стану датчиків безпеки

```
{
  unsigned char door = (P1IN & DOOR);
  unsigned char motion = (P2IN & PIR);
}
```

кінець лістингу 3.20

Значення зчитуються з портів мікроконтролера, що забезпечує мінімальну затримку реакції системи (лістинг 3.21).

 Лістинг 3.21 – Фрагмент коду, виявлення зміни стану дверей

```
if(door != lastDoor)
{
  P1OUT &= ~LED;
  P2OUT &= ~BUZZER;
  counter = 0;
  lastDoor = door;
}
```

кінець лістингу 3.21

У разі зміни стану дверей система виконує скидання всіх активних сигналів. Це дозволяє уникнути помилкових спрацювань та забезпечує коректний перехід між режимами охорони та звичайної роботи (лістинг 3.22).

 Лістинг 3.22 – Фрагмент коду, охоронний режим (двері закриті)

```
if(!door && motion)
  counter++;
  if(counter > 500)
    P1OUT ^= LED;
    P2OUT ^= BUZZER;
    counter = 0;
```

кінець лістингу 3.22

У даному режимі система переходить у стан охорони. При виявленні руху активується світлова та звукова сигналізація. Світлодіод починає мигати, а буюер генерує переривчастий звуковий сигнал. Лічильник counter використовується для формування періодичності сигналу (лістинг 3.23).

Лістинг 3.23 – Фрагмент коду, звичайного режиму (двері відкриті)

```
else if(door && motion)
{
    P1OUT |= LED;
    P2OUT &= ~BUZZER;
    counter = 0;
}
```

кінець лістингу 3.23

У цьому режимі система не сприймає рух як загрозу та не ініціює тривожні події. Світлодіод працює в постійному режимі як індикатор активності системи, сигналізуючи про її увімкнений стан, тоді як звукова сигналізація залишається вимкненою (лістинг 3.24). Такий підхід забезпечує зручний контроль стану системи без створення зайвих сповіщень.

Лістинг 3.24 – Фрагмент коду, відсутність руху

```
else
{
    P1OUT &= ~LED;
    P2OUT &= ~BUZZER;
    counter = 0;
}
```

кінець лістингу 3.24

При відсутності руху система переходить у пасивний режим. Усі виконавчі пристрої вимикаються, що дозволяє зменшити енергоспоживання та уникнути зайвих спрацювань.

Реалізована система безпеки працює за принципом поділу на стани, що визначаються положенням дверей. Це дозволяє уникнути хибних спрацювань та адаптувати реакцію системи до умов експлуатації.

У режимі охорони будь-який рух розглядається як потенційна загроза, що активує світлову та звукову сигналізацію. У звичайному режимі система використовується як елемент автоматичного керування освітленням без активації тривоги.

Завдяки використанню простих логічних умов та прямого опитування портів забезпечується швидка реакція системи без затримок, що є критично важливим для охоронних застосувань.

3.5 Тестування та експериментальні дослідження

Тестування розробленої системи розумного будинку виконувалося з метою перевірки коректності роботи алгоритмів керування, стабільності реакції на події та відповідності апаратної реалізації заданих логіки. Основна увага приділялася перевірці взаємодії датчиків руху та дверей із виконавчими пристроями: світлодіодом, релейним модулем та звуковим сигналізатором.

Система тестувалась у трьох основних сценаріях: режим закритих дверей (охорона), режим відкритих дверей (керування освітленням) та перехідні стани між ними. Окремо перевірялася реакція системи на відсутність руху (лістинг 3.25).

Лістинг 3.25 – Фрагмент коду, базова ініціалізація для тестування

```

WDTCTL = WDTPW | WDTHOLD;
P1DIR |= LED | RELAY;
P2DIR |= BUZZER;
P1OUT &= ~LED;
P2OUT &= ~BUZZER;
P1OUT |= RELAY;

```

кінець лістингу 3.25

Цей фрагмент забезпечує старт системи у контрольованому стані. Усі виконавчі пристрої встановлюються у початкові значення, що дозволяє уникнути випадкових спрацювань під час запуску (лістинг 3.26).

Лістинг 3.26 – Фрагмент коду, тест реакції на рух (закриті двері)

```
if(!door && motion)
{
    P1OUT ^= LED;
    P2OUT ^= BUZZER;
}
```

кінець лістингу 3.26

У даному режимі перевірялась робота охоронної логіки системи.

При закритих дверях і наявності руху система повинна активувати миготіння світлодіода та звукову сигналізацію, що свідчить про виявлення потенційної загрози.

Така перевірка дозволяє підтвердити коректність роботи алгоритму реагування на події та забезпечує надійність функціонування охоронного режиму (лістинг 3.27). У цьому режимі перевірялося автоматичне увімкнення освітлення.

Лістинг 3.27 – Фрагмент коду, тест режиму освітлення (відкриті двері)

```
if(door && motion)
{
    P1OUT |= LED;
    P2OUT &= ~BUZZER;
}
```

кінець лістингу 3.27

При відкритих дверях та виявленні руху світлодіод переходить у постійно увімкнений стан, що імітує роботу освітлювальної системи (лістинг 3.28). Проведена перевірка функціонування системи показала, що за відсутності сигналу з PIR-датчика руху всі виконавчі пристрої автоматично переходять у вимкнений стан. Зокрема, світлодіодна індикація припиняє свою роботу, а звукова сигналізація не генерує жодних сигналів.

Лістинг 3.28 – Фрагмент коду, тест відсутності руху

```

else
    {
        P1OUT &= ~LED;
        P2OUT &= ~BUZZER;
    }

```

кінець лістингу 3.28

Така поведінка системи свідчить про коректну реалізацію алгоритмів керування та підтверджує ефективність застосованої логіки енергозбереження, яка дозволяє мінімізувати споживання електроенергії у стані спокою (табл. 3.1).

Таблиця 3.1 – Результати тестування системи

Сценарій	Двері	Рух	LED	Бузер	Реле	Результат
1	Закриті	Немає	Вимкнено	Вимкнено	Увімкнено	Норма
2	Закриті	Є	Мигає	Активний	Увімкнено	Норма
3	Відкриті	Є	Постійно ON	Вимкнено	Керування	Норма
4	Відкриті	Немає	Вимкнено	Вимкнено	Вимкнено	Норма

Проведені експериментальні дослідження підтвердили коректність роботи розробленої системи. Усі режими функціонують відповідно до заданого алгоритму, без помилкових спрацювань та затримок, які могли б вплинути на стабільність роботи.

Особливо важливо, що система стабільно перемикається між режимами охорони та освітлення без необхідності перезавантаження або додаткового втручання. Це підтверджує правильність реалізації програмної логіки та апаратної частини.

3.6 Можливості модернізації системи

Розроблена система розумного будинку на базі мікроконтролера MSP430G2553 має модульну структуру та може бути розширена без суттєвих змін

у базовій апаратній і програмній реалізації. Це дозволяє адаптувати систему під більш складні задачі автоматизації та підвищити її функціональність.

Одним із основних напрямків модернізації є розширення кількості підключених датчиків. До системи можуть бути додані датчики диму, газу, температури та вологості, що дозволить перетворити її на комплексну систему моніторингу стану приміщення (лістинг 3.29).

Лістинг 3.29 – Фрагмент потенційного розширення (додаткові датчики)

```
#define GAS_SENSOR    BIT1    // приклад P2.1
#define TEMP_SENSOR   BIT2    // приклад P2.2
```

кінець лістингу 3.29

Ще одним напрямком модернізації є впровадження бездротових технологій передачі даних. Використання модулів Bluetooth або Wi-Fi дозволить здійснювати дистанційний моніторинг та керування системою через мобільний застосунок або веб-інтерфейс (лістинг 3.30).

Лістинг 3.30 – Фрагмент потенційної інтеграції зв'язку

```
UART TX/RX → модуль Bluetooth
```

або

```
SPI/I2C → Wi-Fi модуль
```

кінець лістингу 3.30

Це дозволить передавати стан датчиків у реальному часі та отримувати команди керування від користувача.

Також можливим напрямком удосконалення є інтеграція системи в концепцію Інтернету речей, що передбачає підключення до хмарних сервісів для збору та аналізу даних. Це дозволить реалізувати статистику роботи системи, журнал подій та віддалене оновлення програмного забезпечення. Ще одним покращенням є оптимізація енергоспоживання шляхом використання режимів низького енергоспоживання мікроконтролера MSP430. Це дозволить значно зменшити витрати енергії при роботі системи в режимі очікування.

Таким чином, розроблена система має значний потенціал для подальшого розвитку. Її архітектура дозволяє масштабування як у напрямку розширення функціональності, так і в напрямку інтеграції сучасних технологій IoT. Це робить систему універсальною платформою для побудови більш складних рішень у сфері автоматизації та розумного будинку.

ВИСНОВКИ

У сучасних умовах розвитку інформаційних технологій особливого значення набувають системи автоматизації житлових приміщень. Такі системи забезпечують автоматичне керування побутовими пристроями, підвищують рівень комфорту, енергоефективності та безпеки користувачів. У межах роботи розроблено та досліджено сервісний хаб розумного будинку на базі мікроконтролера MSP430, який забезпечує взаємодію датчиків і виконавчих пристроїв, обробку сигналів та реалізацію алгоритмів керування системою.

Проведено аналіз систем розумного будинку і виявлено, що існуючі рішення характеризуються широкими функціональними можливостями, проте часто мають високу складність, значну вартість та підвищене енергоспоживання, що обмежує їх застосування в автономних та побутових системах.

Визначено основні вимоги до систем автоматизації, до яких належать енергоефективність, надійність роботи, простота реалізації та можливість автономного функціонування без постійного втручання користувача.

Обґрунтовано вибір апаратної платформи, а саме мікроконтролера MSP430, який завдяки низькому енергоспоживанню, достатній продуктивності та можливості підключення периферійних пристроїв є доцільним для реалізації системи розумного будинку.

Розроблено структурну схему пристрою, яка відображає взаємодію основних компонентів системи, та електричну схему, що забезпечує коректне підключення датчиків і виконавчих елементів.

Реалізовано програмне забезпечення системи, яке забезпечує обробку сигналів від датчиків, виконання алгоритмів керування та керування виконавчими пристроями у режимі реального часу.

Проведено експериментальні дослідження роботи розробленої системи, які підтвердили її працездатність, стабільність функціонування та відповідність заданим вимогам.

Усі завдання кваліфікаційної роботи виконано, мета досягнута.

ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Texas Instruments. MSP430 Ultra-Low-Power Microcontrollers Overview. URL: <https://www.ti.com/microcontrollers/msp430-ultra-low-power.html> (дата звернення: 10.02.2026).
2. Texas Instruments. MSP430 Architecture User Guide. URL: <https://www.ti.com/lit/ug/slau144j/slau144j.pdf> (дата звернення: 14.02.2026).
3. Texas Instruments. Code Composer Studio (CCS). URL: <https://www.ti.com/tool/CCSTUDIO> (дата звернення: 18.02.2026).
4. IBM. What is Smart Home? URL: <https://www.ibm.com/topics/smart-home> (дата звернення: 22.02.2026).
5. Smart Home Systems Overview. ScienceDirect. URL: <https://www.sciencedirect.com/topics/engineering/smart-home> (дата звернення: 25.02.2026).
6. PIR Sensor Working Principle. Electronics Tutorials. URL: <https://www.electronics-tutorials.ws/io/pir-sensor.html> (дата звернення: 01.03.2026).
7. Relay Module Working Principle. Electronics Hub. URL: <https://www.electronicshub.org/relay-module/> (дата звернення: 05.03.2026).
8. Reed Switch (Magnetic Sensor) Operation. Electronics Notes. URL: https://www.electronics-notes.com/articles/electronic_components/reed-relay-switch.php (дата звернення: 10.03.2026).
9. Buzzer Types and Working. Engineers Garage. URL: <https://www.engineersgarage.com/buzzer-types-working/> (дата звернення: 15.03.2026).
10. Texas Instruments. MSP430G2553 Microcontroller Datasheet. URL: <https://www.ti.com/lit/ds/symlink/msp430g2553.pdf> (дата звернення: 20.03.2026).
11. Texas Instruments. MSP430x2xx Family User's Guide. URL: <https://www.ti.com/lit/ug/slau144j/slau144j.pdf> (дата звернення: 25.03.2026).
12. Texas Instruments. MSP-EXP430G2 LaunchPad Development Kit User's Guide. URL: <https://www.ti.com/lit/ug/slau318/slau318.pdf> (дата звернення: 30.03.2026).

13. Parallax Inc. PIR Sensor: Product Guide. URL: <https://www.parallax.com/package/pir-sensor-product-guide/> (дата звернення: 05.04.2026).

14. SRD-05VDC-SL-C Relay Datasheet. Songle Relay. URL: https://datasheet.lcsc.com/lcsc/1811021610_Songle-Relay-SRD-05VDC-SL-C_C35449.pdf (дата звернення: 10.04.2026).

15. Reed Switch Hookup Guide. SparkFun Electronics. URL: <https://learn.sparkfun.com/tutorials/reed-switch-hookup-guide> (дата звернення: 15.04.2026).

16. Light-Emitting Diodes (LEDs). SparkFun Electronics. URL: <https://learn.sparkfun.com/tutorials/light-emitting-diodes-leds> (дата звернення: 20.04.2026).

17. Buzzer – Working and Interfacing. Components101. URL: <https://components101.com/buzzer-pinout-working-datasheet> (дата звернення: 25.04.2026).

18. Horowitz P., Hill W. The Art of Electronics. 3rd ed. Cambridge: Cambridge University Press, 2022. 1225 p.

19. Sedra A., Smith K. Microelectronic Circuits. 7th ed. Oxford: Oxford University Press, 2024. 1420 p.