

ГОВОРУЩЕНКО ТЕТЯНА

Хмельницький національний університет

<https://orcid.org/0000-0002-7942-1857>e-mail: hovorushchenko@khmnu.edu.ua**ВОЙЧУР ЮРІЙ**

Хмельницький національний університет

<https://orcid.org/0000-0003-3085-7315>e-mail: voichury@khmnu.edu.ua**БАРАНОВ ІВАН**

Хмельницький національний університет

e-mail: qwertycaramba470@gmail.com

СИНТЕЗ ТА АНАЛІЗ СХЕМИ АПАРАТНОЇ ЧАСТИНИ КІБЕРФІЗИЧНОЇ СИСТЕМИ «РОЗУМНИЙ ЛІФТ»

«Розумний ліфт» – це сучасна версія підйомного пристрою, що використовує мікроконтролери, сенсори, інтерфейси зв'язку та програмне забезпечення для підвищення безпеки, ефективності та зручності використання. Розробка апаратної частини такої системи є актуальним завданням в умовах цифровізації та автоматизації побутових і промислових процесів.

Було здійснено детальне проектування апаратної частини кіберфізичної системи «Розумний ліфт». Під час виконання цього етапу визначено основні вимоги до елементної бази системи, враховуючи специфіку її функціонування та необхідність забезпечення безпеки й надійності експлуатації. Окрему увагу приділено детальному опису структурної схеми системи, у межах якої чітко визначено функції, взаємозв'язки та принципи взаємодії всіх основних апаратних модулів.

Також було здійснено синтез та моделювання роботи розробленої схеми апаратної частини кіберфізичної системи «Розумний ліфт». Проектування здійснювалось поступово, з послідовним моделюванням та перевіркою працездатності кожного окремого функціонального блоку системи. Використовуючи можливості Proteus щодо прямої подачі логічних сигналів, було підтверджено правильність вибору компонентів та коректність їхнього підключення. Під час проектування було детально описано особливості підключення кожного з компонентів і способи забезпечення стабільності роботи блоків. Після моделювання окремих блоків, було проведено аналіз схеми. На цьому етапі було перевірено ряд ключових функцій, які забезпечують безпечну та комфортну експлуатацію ліфта. Проведений аналіз дозволив повністю підтвердити працездатність розробленої схеми, її відповідність встановленим вимогам та високий рівень безпеки експлуатації. Це забезпечило необхідну основу для подальшої реалізації фізичного прототипу системи.

Ключові слова: елементна база, схема структурна, схема принципова, синтез схеми, аналіз схеми, моделювання схеми, кіберфізична система.

HOVORUSHCHENKO TETIANA, VOICHUR YURI, BARANOV IVAN

Khmelnitskyi National University

SYNTHESIS AND ANALYSIS OF THE HARDWARE PART'S SCHEME OF THE CYBERPHYSICAL SYSTEM “SMART ELEVATOR”

A “smart elevator” is a modern version of a lifting device that uses microcontrollers, sensors, communication interfaces, and software to improve safety, efficiency, and ease of use. The development of the hardware part of such a system is a pressing task in the context of the digitalization and automation of domestic and industrial processes. A detailed design of the hardware part of the cyber-physical system “Smart Elevator” was carried out. During this stage, the basic requirements for the system's component base were determined, taking into account the specifics of its functioning and the need to ensure safety and reliability of operation. Particular attention was paid to a detailed description of the system's structural diagram, within which the functions, interrelationships, and principles of interaction of all the main hardware modules were clearly defined. The synthesis and modeling of the developed hardware diagram of the cyber-physical system “Smart Elevator” was also carried out. The design was carried out gradually, with sequential modeling and verification of the performance of each individual functional block of the system. Using Proteus' capabilities for direct logic signal delivery, the correctness of the component selection and the correctness of their connection were confirmed. During the design, the connection features of each component and the methods of ensuring the stability of the blocks were described in detail. After modeling individual blocks, the diagram was analyzed. At this stage, a number of key functions that ensure safe and comfortable elevator operation were tested. The analysis allowed us to fully confirm the operability of the developed circuit, its compliance with the established requirements, and a high level of operational safety. This provided the necessary basis for the further implementation of the physical prototype of the system.

Keywords: component base, structural diagram, principle diagram, diagram synthesis, diagram analysis, diagram modeling, cyber-physical system.

Стаття надійшла до редакції / Received 01.09.2025

Прийнята до друку / Accepted 24.09.2025

Вступ

Протягом останніх років автоматизація з використанням інформаційних технологій впевнено посіла важливе місце в нашому житті. Вона поширюється майже на всі сфери людського життя, полегшуючи його. Можливість керувати різними приладами за допомоги одного пульта або, навіть, голосових команд – надто привабливо для кожної людини. Також варто не забути про ще одну перевагу автоматизованої системи «Розумний будинок» – здатність відображати інформацію про поточний стан,

що надає можливість людині відреагувати на надзвичайну ситуацію: пожежу, витік газу тощо. Тому останнім часом тема автоматизованого будинку набуває все більшої популярності, а великі компанії розглядають можливості вийти на ринок зі своїм продуктом [1-3].

Ліфти як засіб вертикального транспортування стали невід'ємною частиною інфраструктури сучасних будівель. Сьогодні підйомні системи не лише забезпечують зручність переміщення людей і вантажів, а й входять до складу кіберфізичних систем, які поєднують фізичні пристрої з інформаційно-керуючим середовищем [4-6]. «Розумний ліфт» – це сучасна версія підйомного пристрою, що використовує мікроконтролери, сенсори, інтерфейси зв'язку та програмне забезпечення для підвищення безпеки, ефективності та зручності використання [7, 8]. Розробка апаратної частини такої системи є актуальним завданням в умовах цифровізації та автоматизації побутових і промислових процесів [9, 10].

Вибір елементної бази для синтезу апаратної частини кіберфізичної системи «Розумний ліфт»

Під час проєктування апаратної частини кіберфізичної системи «Розумний ліфт» було сформовано чіткий перелік основних структурних блоків, необхідних для забезпечення надійної роботи та взаємодії усіх компонентів:

- керуючий блок (контролер);
- блок приводу дверей та переміщення кабіни;
- блок датчиків (сенсорна система);
- блок індикації та керування.

Вибір саме таких структурних блоків зумовлений необхідністю забезпечити виконання всіх функцій системи з максимальною простотою, надійністю та можливістю подальшого моделювання і тестування в спеціалізованих середовищах. Кожен блок має чітке апаратне призначення та сформований набір компонентів.

Керуючим блоком (контролером) обрано мікроконтролер Arduino Mega 2560 (рис. 1) на базі мікросхеми ATmega2560. Вибір цього контролера зумовлений значною кількістю доступних цифрових та аналогових входів/виходів, достатнім обсягом пам'яті та здатністю одночасно працювати з великою кількістю периферійних пристроїв (датчики, приводи, індикація) без використання додаткових модулів розширення, що значно спрощує реалізацію.

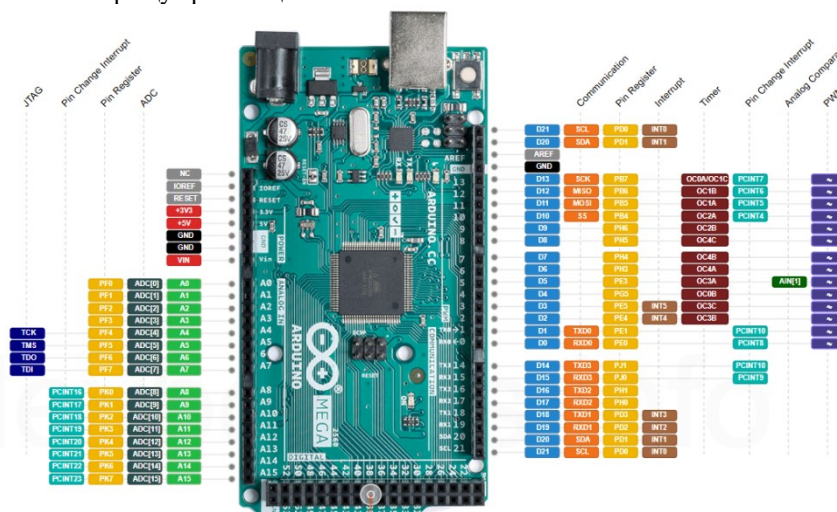


Рис. 1. Arduino Mega 2560 з pin-out діаграмою

Для реалізації блоку приводу дверей (механічних функцій відкриття й закриття дверей ліфта) та переміщення кабіни між поверхами використано наступні компоненти:

- кроковий двигун типу NEMA-17;
- драйвер ULN2003A.

Кроковий двигун NEMA-17 (рис. 2) було обрано завдяки його простоті у використанні, високій точності позиціонування та доступній вартості. Використання саме цього типу двигуна не потребує складних схем керування, забезпечує достатній момент для переміщення дверей і кабіни у межах модельних навантажень. Для живлення двигуна та захисту мікроконтролера від високих струмів навантаження використано драйвер ULN2003A (рис. 3). Даний драйвер містить інтегровані транзисторні ключі з вбудованими захисними діодами, що забезпечує простоту та надійність схеми, мінімізуючи кількість зовнішніх компонентів.

Блок датчиків (сенсорна система) відповідає за безпеку пасажирів та своєчасну реакцію ліфта на зовнішні події. До цього блоку входять:

- інфрачервоні датчики перешкод (Obstacle IR sensors);
- газовий датчик MQ-2.



Рис. 2. Кроковий двигун NEMA-17

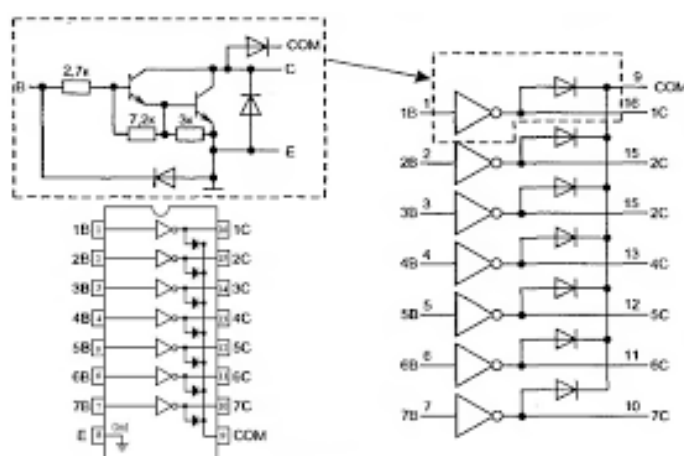


Рис. 3. Схема роботи мікросхеми-драйвера ULN2003A

Для контролю безпечного руху дверей використано два інфрачервоні датчики (Obstacle IR sensors) (рис. 4), що розміщені у верхній і нижній частині дверного прорізу. Використання саме двох датчиків дозволяє з високою точністю виявляти присутність будь-яких об'єктів (зокрема, пасажирів) у зоні закривання дверей. Перевагою таких датчиків є висока швидкість спрацювання, чіткий цифровий сигнал на виході, а також можливість простої інтеграції без додаткових схем.

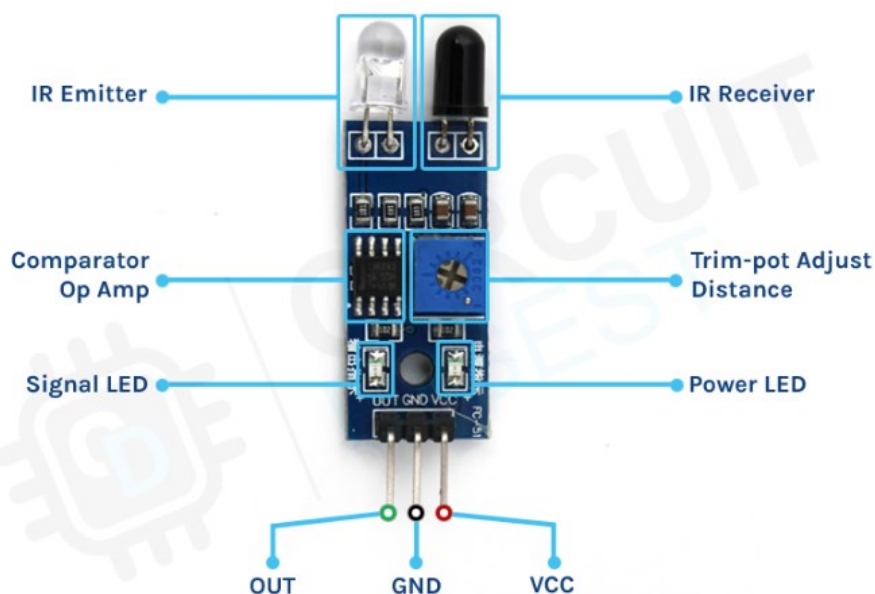


Рис. 4. Інфра червоний датчик перешкод з позначенням основних елементів

Газовий датчик MQ-2 (рис. 5) використовується для раннього виявлення небезпечних концентрацій газу або диму всередині ліфтової кабіни. Він має високу чутливість до таких речовин, як метан, пропан і дим, простий в інтеграції, а вихідний аналоговий сигнал легко перетворюється на пороговий сигнал тривоги за допомогою стандартних схемних рішень.



Рис. 5. Газовий датчик MQ-2

Блок індикації та керування забезпечує взаємодію користувача із системою ліфта, інформує про стан роботи та дозволяє вручну керувати його функціями. Основні компоненти цього блоку:

- LCD-дисплей (LCD1602);
- LED-індикатори поверхів;
- кнопки виклику поверхів;
- кнопка аварійної зупинки;
- п'єзоелектричний зумер.

LCD-дисплей типу 1602 (рис. 6) забезпечує зрозумілу та швидку індикацію основних параметрів роботи ліфта: номер поточного поверху, цільовий поверх, наявність аварійних ситуацій. Цей дисплей простий у керуванні, не потребує значної кількості виводів контролера (лише шість ліній у чотирибітному режимі), що дозволяє ефективно використовувати доступні ресурси.

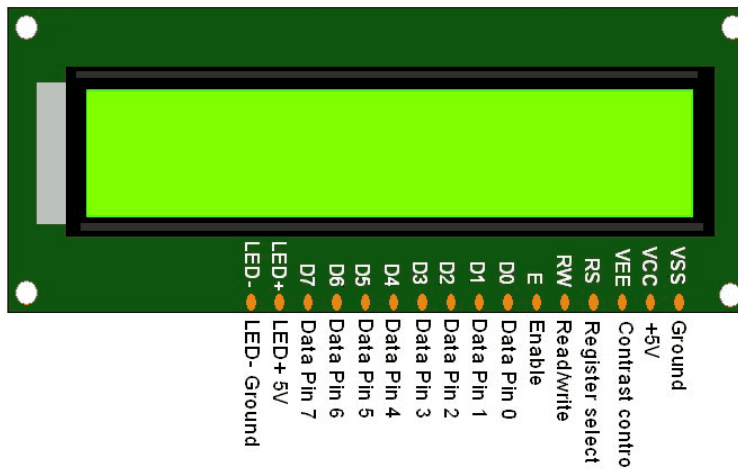


Рис. 6. LCD-дисплей типу 1602

LED-індикатори та кнопки виклику поверхів забезпечують зрозумілий інтерфейс для пасажирів: натиснення кнопок виклику супроводжується включенням відповідного LED-індикатора, що підтверджує прийняття команди. Кнопка аварійної зупинки забезпечує миттєву реакцію системи на позаштатну ситуацію. П'єзоелектричний зумер перетворює електричну енергію на звукові коливання. Він використовується для створення звукових сигналів.

Синтез та аналіз схеми апаратної частини кіберфізичної системи «Розумний ліфт»

Наступним важливим етапом після визначення переліку компонентів та їх основних характеристик є формування структурної схеми (рис. 7), яка дозволяє проілюструвати принципову організацію системи та логіку взаємодії окремих модулів. Така схема визначає принцип керування, спосіб апаратного з'єднання компонентів, встановлює межі між різними функціональними блоками та дає змогу зрозуміти, як саме система реагуватиме на ті чи інші вхідні сигнали.

Керуючий блок (Arduino Mega 2560) забезпечує централізований контроль і координацію роботи всіх елементів. Через свої численні цифрові та аналогові входи він отримує інформацію від датчиків,

кнопки виклику, аварійної зупинки та інших елементів. На основі аналізу цих сигналів контролер формує сигнали керування для приводу дверей, переміщення кабіни та активує різні режими роботи (наприклад, аварійний чи штатний). Крім того, контролер генерує сигнали для індикації та звукового сповіщення, забезпечуючи зручність і безпеку пасажирів.

Блок датчиків положення кабіни включає набір інфрачервоних датчиків, встановлених на кожному поверсі. Ці датчики генерують дискретні сигнали, які чітко вказують на перебування кабіни на певному поверсі. Завдяки цьому забезпечується точне позиціонування кабіни та її своєчасна зупинка. Відповідно, керуючий блок отримує інформацію, яка дозволяє формувати точні та своєчасні керуючі команди для двигуна, запобігаючи помилкам позиціонування кабіни та забезпечуючи максимальну комфортність руху для пасажирів.

Блок датчиків безпеки забезпечує безпеку роботи ліфта та складається з газового сенсора MQ-2 і двох інфрачервоних датчиків перешкод (верхнього та нижнього), встановлених у зоні дверей кабіни. Газовий датчик постійно контролює рівень небезпечних газів та диму. У разі перевищення встановленого порогу контролер миттєво отримує сигнал про небезпеку і переходить у аварійний режим роботи. Два ІЧ-датчики перешкод, які розташовані на дверях кабіни у верхній і нижній частинах, визначають наявність сторонніх об'єктів під час закриття дверей. Ця схема забезпечує чітку логіку: одночасне спрацювання обох датчиків означає повне закриття дверей, тоді як спрацювання лише одного сигналізує про наявність перешкоди, що веде до зупинки та реверсу дверей.

Блок приводу дверей і переміщення кабіни є суто виконавчим модулем, що отримує керуючі сигнали від контролера. Цей блок складається з крокового двигуна NEMA-17 і драйвера ULN2003A. Драйвер перетворює сигнали контролера в струми для крокового двигуна, забезпечуючи точне позиціонування кабіни ліфта і чітке відкриття/закриття дверей. Обраний двигун має достатній крутний момент і точність, що гарантує стабільний і надійний рух механічних частин ліфта. Важливою перевагою такого підходу є повністю кероване, дискретне переміщення, що забезпечує точність зупинок та мінімізує ризик помилок при позиціонуванні кабіни.

Блок індикації та керування призначений для інформування пасажирів та забезпечення зручного керування ліфтом. LCD-дисплей дозволяє відображати важливу інформацію про поточний стан системи (номер поверху, повідомлення про аварійні ситуації), а LED-індикатори візуально підтверджують команди користувачів. Кнопки виклику поверхів та аварійна кнопка STOP безпосередньо підключені до контролера, що дозволяє миттєво реагувати на дії пасажирів. П'єзоелектричний зумер доповнює інформаційне забезпечення системи, формуючи звукові сигнали при зміні поверху або виникненні аварійних ситуацій.

Блок живлення забезпечує надійну роботу всіх складових системи. Для цього використовується стабілізоване джерело постійного струму з напругою +5 В і максимальним струмом 2 А. Такий підхід дозволяє розмежувати живлення логічної частини (контролер, датчики, дисплей, зумер, LED-індикатори) і двигуна, мінімізуючи перешкоди та забезпечуючи стабільність роботи системи навіть при пікових навантаженнях.

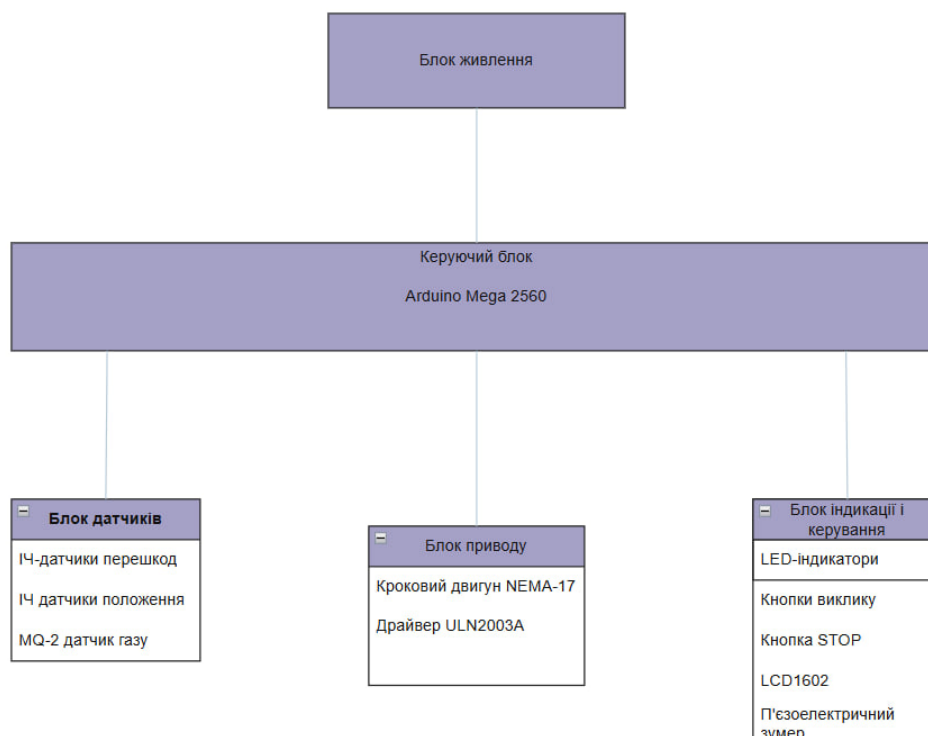


Рис. 7. Структурна схема апаратної частини кіберфізичної системи «Розумний ліфт»

Після завершення розробки та інтеграції усіх окремих апаратних блоків у середовищі Proteus, наступним логічним етапом став аналіз функціонування системи за допомогою програмного керування. Для цього було завантажено відповідну прошивку, яка була розроблена на основі мікроконтролера Arduino Mega 2560 та дозволила комплексно оцінити реакцію системи «Розумний ліфт» на різноманітні типові й аварійні ситуації. Після завантаження програмного коду ліфтова система була протестована щодо переміщення кабіни між заданими поверхами (рис. 8). Під час проведення тесту натисканням кнопок виклику поверху з кабіни або з поверхових панелей було ініційовано рух ліфта у необхідному напрямку. В процесі симуляції було підтверджено коректність роботи системи керування приводом кабіни: двигун впевнено відпрацьовував задані команди на переміщення, точно позиціонуючи кабіну на вибраному поверсі. Інфрачервоні датчики положення спрацьовували чітко, надійно сигналізуючи про досягнення заданих рівнів поверхів.

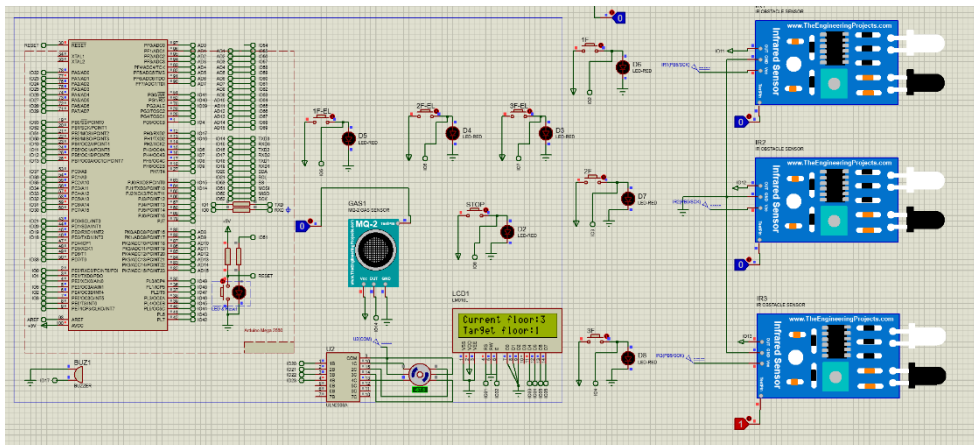


Рис. 8. Аналіз схеми переміщення ліфтової кабіни

Наступним важливим етапом аналізу схеми стала перевірка роботи кнопки екстреної зупинки (STOP) (рис. 9). Були проведені два режими випробувань. У першому режимі короточасне натискання кнопки викликало негайну зупинку ліфта на період 10 секунд, після чого рух автоматично поновлювався. Другий режим передбачав утримання кнопки STOP у натиснутому положенні. В цьому випадку кабіна залишалася зупиненою до того моменту, поки кнопка не була відпущена. Ця функція дозволяє оперативно реагувати на надзвичайні ситуації, забезпечуючи додаткову безпеку пасажирів та персоналу. Під час моделювання в Proteus було перевірено, що двигун миттєво, без затримок, припиняє роботу, що свідчить про коректність схеми керування та програмного забезпечення.

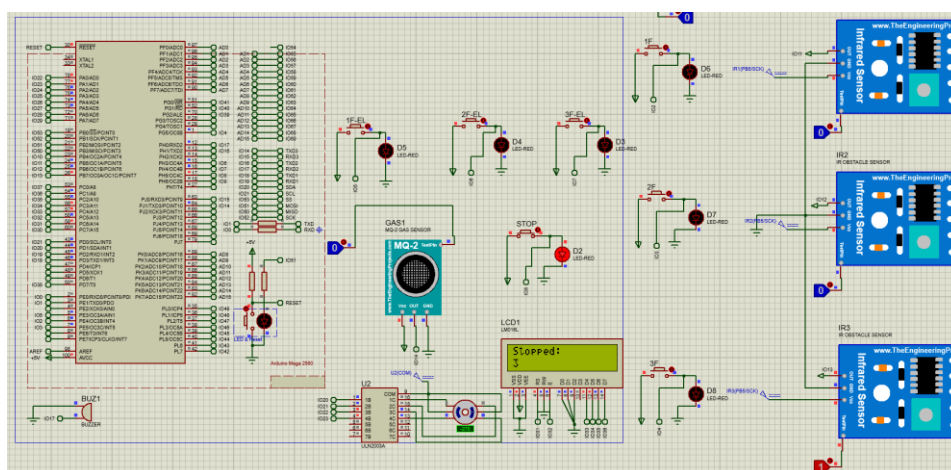


Рис. 9. Зупинка ліфта при натисканні кнопки екстреної зупинки

Тестування роботи газового датчика MQ-2 було проведено шляхом подачі відповідного сигналу на спеціальний тестовий вивід цього датчика. При моделюванні ситуації виявлення небезпечної концентрації газу (логічний сигнал «1» з тестового виходу) система автоматично переводила ліфт у аварійний режим (рис. 10). У цьому режимі кабіна рухалася до найближчого поверху (залежно від напрямку попереднього руху), де зупинялася, і автоматично відкривалися двері. Додатково активувалася звукова сигналізація, що інформувала пасажирів про потенційну небезпеку. Перевірка показала, що аварійний режим активується коректно й оперативно, забезпечуючи максимально безпечні умови для евакуації пасажирів із кабіни. Після усунення небезпеки (припинення сигналу з датчика MQ-2) система автоматично виходила з аварійного режиму, повертаючи ліфт до штатного режиму експлуатації.

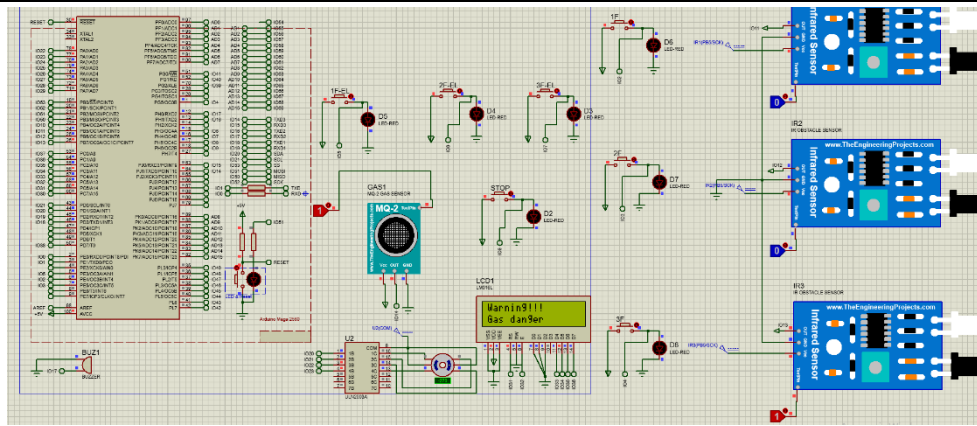


Рис.10. Реакція контролера на спрацювання датчику газу

Важливою функцією, перевіреною в ході тестування, була реакція системи на появу перешкод у дверному отворі під час закривання дверей (рис. 11). При моделюванні в Proteus було перевірено поведінку ліфтової кабіни за умов появи перешкоди, яка визначалася сигналом логічної одиниці тільки на одному з двох інфрачервоних датчиків дверного отвору. В цьому випадку система негайно зупиняла процес закривання дверей і запускала їх у зворотному напрямку, повністю відкриваючи дверний отвір, щоб забезпечити безпеку пасажирів.

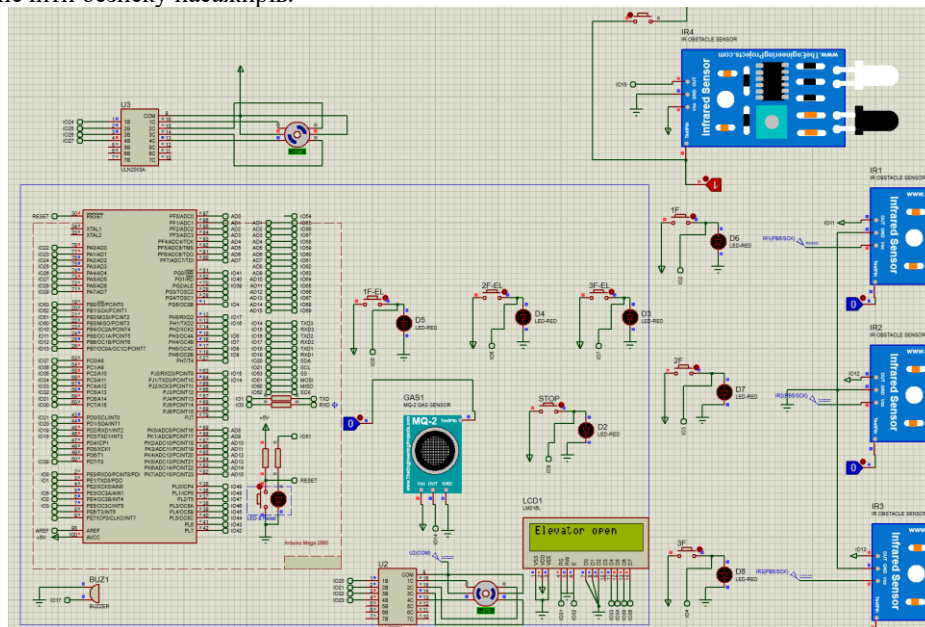


Рис.11. Відкриття дверей при виявленні перешкоди в дверному отворі

Таким чином, аналіз схеми дозволив підтвердити, що розроблений алгоритм керування дверним приводом забезпечує швидку і чітку реакцію на будь-які перешкоди, виключаючи можливість травмування або дискомфорту пасажирів. Усі описані сценарії були модельовані в середовищі Proteus. Результати показали, що апаратна схема та програмне забезпечення кіберфізичної системи «Розумний ліфт» повністю відповідають вимогам безпеки, стабільності роботи й оперативності реакції на різноманітні позаштатні ситуації. Завдяки цьому подальші етапи розробки можуть бути спрямовані на реалізацію вже фізичного прототипу, заснованого на отриманих результатах тестування.

Висновки

«Розумний ліфт» – це сучасна версія підйомного пристрою, що використовує мікроконтролери, сенсори, інтерфейси зв'язку та програмне забезпечення для підвищення безпеки, ефективності та зручності використання. Розробка апаратної частини такої системи є актуальним завданням в умовах цифровізації та автоматизації побутових і промислових процесів.

Було здійснено детальне проектування апаратної частини кіберфізичної системи «Розумний ліфт». Під час виконання цього етапу визначено основні вимоги до елементної бази системи, враховуючи специфіку її функціонування та необхідність забезпечення безпеки й надійності експлуатації. Окрему увагу приділено детальному опису структурної схеми системи, у межах якої чітко визначено функції, взаємозв'язки та принципи взаємодії всіх основних апаратних модулів.

Також було здійснено синтез та моделювання роботи розробленої схеми апаратної частини кіберфізичної системи «Розумний ліфт». Проектування здійснювалось поступово, з послідовним моделюванням та перевіркою працездатності кожного окремого функціонального блоку системи.

Використовуючи можливості Proteus щодо прямої подачі логічних сигналів, було підтверджено правильність вибору компонентів та коректність їхнього підключення. Під час проектування було детально описано особливості підключення кожного з компонентів і способи забезпечення стабільності роботи блоків. Після моделювання окремих блоків, було проведено аналіз схеми. На цьому етапі було перевірено ряд ключових функцій, які забезпечують безпечну та комфортну експлуатацію ліфта. Проведений аналіз дозволив повністю підтвердити працездатність розробленої схеми, її відповідність встановленим вимогам та високий рівень безпеки експлуатації. Це забезпечило необхідну основу для подальшої реалізації фізичного прототипу системи.

Література

1. Testing of Highly Configurable Cyber-Physical Systems – A Multiple Case Study / S. Fischer et al. *VaMoS'21: 15th International Working Conference on Variability Modelling of Software-Intensive Systems*, Krems Austria. New York, NY, USA, 2021. URL: <https://doi.org/10.1145/3442391.3442411>.
2. Uncertainty-aware specification and analysis for hardware-in-the-loop testing of cyber-physical systems / S. Y. Shin et al. *Journal of Systems and Software*. 2021. Vol. 171. P. 110813. URL: <https://doi.org/10.1016/j.jss.2020.110813>.
3. Generating metamorphic relations for cyber-physical systems with genetic programming: an industrial case study / J. Ayerdi et al. *ESEC/FSE '21: 29th ACM Joint European Software Engineering Conference and Symposium on the Foundations of Software Engineering*, Athens Greece. New York, NY, USA, 2021. URL: <https://doi.org/10.1145/3468264.3473920>.
4. Uncertainty-aware Robustness Assessment of Industrial Elevator Systems / L. Han et al. *ACM Transactions on Software Engineering and Methodology*. 2022. URL: <https://doi.org/10.1145/3576041>.
5. Using Machine Learning to Build Test Oracles: an Industrial Case Study on Elevators Dispatching Algorithms / A. Arrieta et al. *2021 IEEE/ACM International Conference on Automation of Software Test (AST)*, Madrid, Spain, 20–21 May 2021. 2021. URL: <https://doi.org/10.1109/ast52587.2021.00012>.
6. Genetic Algorithm-based Testing of Industrial Elevators under Passenger Uncertainty / J. Galarraga et al. *2021 IEEE International Symposium on Software Reliability Engineering Workshops (ISSREW)*, Wuhan, China, 25–28 October 2021. 2021. URL: <https://doi.org/10.1109/issrew53611.2021.00101>.
7. Are elevator software robust against uncertainties? Results and experiences from an industrial case study / L. Han et al. *ESEC/FSE '22: 30th ACM Joint European Software Engineering Conference and Symposium on the Foundations of Software Engineering*, Singapore Singapore. New York, NY, USA, 2022. URL: <https://doi.org/10.1145/3540250.3558955>.
8. Using regression learners to predict performance problems on software updates / A. Gartzandia et al. *SAC '21: The 36th ACM/SIGAPP Symposium on Applied Computing*, Virtual Event Republic of Korea. New York, NY, USA, 2021. URL: <https://doi.org/10.1145/3412841.3441894>.
9. Valle P., Arrieta A., Arratibel M. Applying and Extending the Delta Debugging Algorithm for Elevator Dispatching Algorithms (Experience Paper). *ISSTA '23: 32nd ACM SIGSOFT International Symposium on Software Testing and Analysis*, Seattle WA USA. New York, NY, USA, 2023. URL: <https://doi.org/10.1145/3597926.3598117>.
10. Stocco A., Pulfer B., Tonella P. Model vs system level testing of autonomous driving systems: a replication and extension study. *Empirical Software Engineering*. 2023. Vol. 28, no. 3. URL: <https://doi.org/10.1007/s10664-023-10306-x>.

References

1. Testing of Highly Configurable Cyber-Physical Systems – A Multiple Case Study / S. Fischer et al. *VaMoS'21: 15th International Working Conference on Variability Modelling of Software-Intensive Systems*, Krems Austria. New York, NY, USA, 2021.
2. Uncertainty-aware specification and analysis for hardware-in-the-loop testing of cyber-physical systems / S. Y. Shin et al. *Journal of Systems and Software*. 2021. Vol. 171. P. 110813.
3. Generating metamorphic relations for cyber-physical systems with genetic programming: an industrial case study / J. Ayerdi et al. *ESEC/FSE '21: 29th ACM Joint European Software Engineering Conference and Symposium on the Foundations of Software Engineering*, Athens Greece. New York, NY, USA, 2021.
4. Uncertainty-aware Robustness Assessment of Industrial Elevator Systems / L. Han et al. *ACM Transactions on Software Engineering and Methodology*. 2022.
5. Using Machine Learning to Build Test Oracles: an Industrial Case Study on Elevators Dispatching Algorithms / A. Arrieta et al. *2021 IEEE/ACM International Conference on Automation of Software Test (AST)*, Madrid, Spain, 20–21 May 2021. 2021.
6. Genetic Algorithm-based Testing of Industrial Elevators under Passenger Uncertainty / J. Galarraga et al. *2021 IEEE International Symposium on Software Reliability Engineering Workshops (ISSREW)*, Wuhan, China, 25–28 October 2021. 2021.
7. Are elevator software robust against uncertainties? Results and experiences from an industrial case study / L. Han et al. *ESEC/FSE '22: 30th ACM Joint European Software Engineering Conference and Symposium on the Foundations of Software Engineering*, Singapore Singapore. New York, NY, USA, 2022.
8. Using regression learners to predict performance problems on software updates / A. Gartzandia et al. *SAC '21: The 36th ACM/SIGAPP Symposium on Applied Computing*, Virtual Event Republic of Korea. New York, NY, USA, 2021.
9. Valle P., Arrieta A., Arratibel M. Applying and Extending the Delta Debugging Algorithm for Elevator Dispatching Algorithms (Experience Paper). *ISSTA '23: 32nd ACM SIGSOFT International Symposium on Software Testing and Analysis*, Seattle WA USA. New York, NY, USA, 2023.
10. Stocco A., Pulfer B., Tonella P. Model vs system level testing of autonomous driving systems: a replication and extension study. *Empirical Software Engineering*. 2023. Vol. 28, no. 3.