МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІНЖЕНЕРНИЙ НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ІНСТИТУТ
ім. Ю. М. Потебні

Кафедра електроніки, інформаційних систем
та програмного забезпечення
(повна назва кафедри)

Кваліфікаційна робота
перший(бакалаврський)
(рівень вищої освіти)

на тему *«Розробка пристрою для автоматичного увімкнення вуличного освітлення»*

Виконав: студент (ка) *4* курсу, групи *6.1763-с2*
спеціальності *153 (176) Мікро- та наносистемна техніка*
(код і назва спеціальності)
освітньої програми *Мікро- та наносистемна техніка*
(код і назва освітньої програми)
Довіденко О.В.
(ініціали та прізвище)

Керівник *професор кафедри ЕІСПЗ, доцент, к.т.н. Ніконова З.А.*
(посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)

Рецензент *інженер-конструктор Конструкторського бюро Колосова Григор'єва І.К.*
(посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)

Запоріжжя
2026

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІНЖЕНЕРНИЙ НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ІНСТИТУТ
ім. Ю. М. Потебні

Кафедра електроніки, інформаційних систем та програмного забезпечення
Рівень вищої освіти перший (бакалаврський)
(перший (бакалаврський) рівень
Спеціальність 153 (176) Мікро- та наносистемна техніка
(назва)
Освітня програма Мікро- та наносистемна техніка
(шифр)

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри Т. В.Критська
«03» червня 2026 року

З А В Д А Н Н Я
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ БАКАЛАВРА ЗДОБУВУЧУ ВИЩОЇ ОСВІТИ

Довіденко Олександру Володимировичу
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема кваліфікаційної роботи *Розробка пристрою для автоматичного увімкнення вуличного освітлення*
керівник кваліфікаційної роботи бакалавра *Ніконова З.А., к.т.н.,доцент*
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)
затверджені наказом вищого навчального закладу від «*23» 12. 2025 р. № 1830-с*
2. Строк подання студентом кваліфікаційної роботи бакалавра *03.06.2026р.*
3. Вихідні дані до кваліфікаційної роботи бакалавра*: пристрій автоматичного увімкнення вуличного освітлення: фоторезистор, операційний підсилювач; незначні габаритні розміри; можливість регулювання; світлова індикація.*
4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) *1 Автоматизація вуличного освітлення. Аналіз технічних рішень 2 Пристрій для автоматичного увімкнення вуличного освітлення на основі фоторезистора 3 Охорона праці та техногенна безпека*
5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень) *Л1 Структурна схема пристрою керування системою вуличного освітлення Л2 Схема електрична принципова Л3 Топологія та схема розміщення елементів на печатній платі*

6. Консультанти розділів кваліфікаційної роботи бакалавра

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата завдання прийняв
I	*Ніконова З.А.*	*27.02.2026*
II	*Ніконова З.А.*	*11.05.2026*
III	*Ніконова З.А.*	*30.05.2026*

7. Дата видачі завдання *20.10.2025р.*

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи бакалавра	строк виконання етапів кваліфікаційної роботи бакалавра	Примітка
1	*Аналіз літератури за темою кваліфікаційної роботи*	*03.11.25 - 30.12.25*	
2	*Написання першого розділу*	*05.01. -27.02.*	
3	*Розробка структурної схеми пожежного сповіщувача*	*28.02. -06.04.*	
5	*Розробка схеми електричної принципової датчика*	*07.04. -01.05.*	
6	*Розробка топології друкованої плати*	*02.05. -11.05.*	
7	*Розділ охорони праці та техногенної безпеки*	*13.05. -20.05.*	
8	*Оформлення пояснювальної записки, виконання креслень*	*21.05. -30.05.*	

студент _____ *Довіденко О.В.*
(підпис) (прізвище та ініціали)

Керівник роботи (проекту) _____ *Ніконова З.А.*
(підпис) (прізвище та ініціали)

Нормоконтроль пройдено

Нормоконтролер _____ *Верьовкін Л. Л.*
(підпис) (прізвище та ініціали)

РЕФЕРАТ

Кваліфікаційна робота містить 62 сторінки, 20 рисунків, 2 таблиці, 21 джерело літератури.

Об’єкт дослідження – система вуличного освітлення.

Мета роботи – розробка пристрою вуличного освітлення на основі фоторезистора.

Задачі роботи: провести аналіз конструкцій та принципу роботи світлочутливих елементів та пристроїв автоматичного увімкнення ліхтарів; розробити схему електричну принципову, топологію друкованої плати та схему розміщення елементів пристрою автоматичного ввімкнення вуличного освітлення.

Методика досліджень – моделювання приладу за допомогою програмного забезпечення Every Circuit, Multisim, розробка топології печатної плати за допомогою Sprint Layout.

Короткий виклад результатів досліджень – розроблено пристрій автоматичного увімкнення вуличного освітлення на основі фоторезистора та операційного підсилювача, що виконує функцію компаратора. Пристрій має світлову індикацію та можливість адаптації до різних умов експлуатації, зокрема до сезонних змін тривалості світлового дня, особливостей місця встановлення та рівня стороннього освітлення.

Прогнозні пропозиції – запропонований пристрій може входити до системи зовнішнього освітлення, що поєднує економічність, практичність і можливість подальшого вдосконалення.

ФОТОРЕЗИСТОР, ОПЕРАЦІЙНИЙ ПІДСИЛЮВАЧ, КОМПАРАТОР, АВТОМАТИЗАЦІЯ, ВУЛИЧНІ ЛІХТАРІ, СХЕМА, ТОПОЛОГІЯ

Кваліфікаційна робота виконана на кафедрі електроніки, інформаційних систем та програмного забезпечення в період з 03.11.2025 по 29.05.2026 р.

Зміст

ВСТУП 5

1 АВТОМАТИЗАЦІЯ УВІМКНЕННЯ ВУЛИЧНОГО ОСВІТЛЕННЯ. АНАЛІЗ ТЕХНІЧНИХ РІШЕНЬ 6

1.1 Світлочутливі елементи в пристроях керування освітленням 7

1.2 Операційні підсилювачі: загальні відомості та принцип роботи 9

1.2.1 Параметри, класифікація та позначення операційних підсилювачів . 10

1.2.2 Передавальні параметри 11

1.2.3 Вихідні параметри, що визначаються властивостями вихідного каскаду ОП 12

1.2.4 Перехідні параметри 12

1.2.5 Параметри ланцюга живлення 13

1.2.6 Компенсація напруги зміщення операційних підсилювачів 18

1.2.7 Стійкість операційних підсилювачів до самозбудження 21

2 ПРИСТРІЙ ДЛЯ АВТОМАТИЧНОГО УВІМКНЕННЯ ВУЛИЧНОГО ОСВІТЛЕННЯ НА ОСНОВІ ФОТОРЕЗИСТОРА 25

2.1 Вимоги до пристрою керування освітленням 25

2.2 Розробка структурної схеми пристрою 26

2.3 Вибір елементної бази та розрахунок елементів схеми 28

2.4 Розробка схеми електричної принципової 42

2.5 Розробка топології друкованої плати та схеми розміщення елементів 45

3 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ТЕХНОГЕННА БЕЗПЕКА 49

3.1 Характеристика потенційно небезпечних виробничих факторів 49

3.2 Заходи пожежної безпеки 50

3.3 Заходи освітленості робочого місця 51

3.4 Загальні вимоги охорони праці при пайці 53

3.5 Техногенна безпека 54

ВИСНОВКИ ТА РЕКОМЕНДАЦІЇ 58

ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАННОЇ ЛІТЕРАТУРИ 59

ВСТУП

У сучасних умовах надійне зовнішнє освітлення є важливою складовою міської та сільської інфраструктури. Воно забезпечує безпеку дорожнього руху, комфорт пішоходів, зручність використання громадських просторів і підвищує загальний рівень благоустрою територій. Разом із цим освітлювальні мережі споживають значну кількість електроенергії, тому питання раціонального керування їх роботою має не лише технічне, а й економічне значення.

Актуальність теми розробки пристрою для автоматичного увімкнення вуличного освітлення зумовлена потребою в енергозбереженні, зменшенні впливу людського фактору та підвищенні надійності експлуатації освітлювальних установок. Ручне керування не завжди забезпечує точний момент вмикання та вимикання світла, а часові реле не враховують реальний рівень освітленості, який змінюється залежно від пори року, хмарності, туману чи опадів. Особливої значущості ця тема набула в Україні в умовах періодичних відключень електроенергії та необхідності раціонального використання енергетичних ресурсів. За таких обставин системи зовнішнього освітлення повинні не лише своєчасно вмикатися у вечірній час, а й працювати прогнозовано, без зайвих втрат енергії та без потреби в постійному ручному контролі.

Практична цінність теми полягає в тому, що для реалізації подібного пристрою можна використати просту й доступну елементну базу. Одним із найдоцільніших рішень є застосування операційного підсилювача, який у схемі виконує функцію компаратора: порівнює напругу від світлочутливого датчика з опорною напругою та формує керувальний сигнал для виконавчого каскаду. Для практичного застосування важливо, щоб датчик, компаратор, виконавчий каскад і джерело живлення працювали узгоджено, забезпечуючи стабільне перемикання в умовах реального зовнішнього середовища.

1 АВТОМАТИЗАЦІЯ УВІМКНЕННЯ ВУЛИЧНОГО ОСВІТЛЕННЯ. АНАЛІЗ ТЕХНІЧНИХ РІШЕНЬ

Вуличне освітлення виконує важливу функцію забезпечення нормативної видимості в нічний час та за несприятливих погодних умов. Для транспортної інфраструктури воно підвищує безпеку руху, полегшує орієнтацію водіїв і зменшує ймовірність аварійних ситуацій. Для пішоходів зовнішнє освітлення створює безпечніше середовище пересування, знижує ризик травматизму та формує комфортні умови використання громадського простору.

Окрім технічного призначення, системи вуличного освітлення мають соціальне та економічне значення. Добре освітлені території є зручнішими для проживання, пересування та ведення господарської діяльності. Водночас надмірне або несвоєчасне освітлення призводить до перевитрати електроенергії та збільшення експлуатаційних витрат.

Традиційне ручне керування або робота за жорстким часовим графіком мають низку недоліків. Вони не враховують фактичний рівень природної освітленості та залежать від людського фактору. Саме тому в сучасних системах дедалі частіше застосовуються автоматичні пристрої, які реагують на реальні зміни освітленості й самостійно вмикають або вимикають світильники.

На відміну від суто часового керування, система з датчиком освітленості безпосередньо пов’язує режим роботи освітлення з реальними умовами навколишнього середовища. Це дає змогу уникнути як передчасного вмикання, так і пізнього спрацювання, коли на вулиці вже недостатньо світла. Таким чином, автоматизація вуличного освітлення є не лише зручною, а й технічно виправданою.

Найпростішим способом реалізації такої системи є застосування фотореле, де сигнал від світлочутливого елемента використовується для керування комутаційним пристроєм. Такий підхід поширений завдяки простоті, невисокій вартості та достатній надійності [1].

Альтернативою є таймери та астрономічні реле, які працюють за попередньо заданим графіком або за розрахунковим часом сходу і заходу сонця. Їх недолік полягає в тому, що вони не враховують реальні атмосферні умови. Через це момент увімкнення не завжди відповідає фактичній потребі в освітленні.

Окрему групу становлять мікроконтролерні системи, які можуть поєднувати датчики освітленості, таймерні функції, дистанційне керування, облік споживання та різні режими роботи. Проте для локального пристрою автоматичного вмикання вуличного світла така функціональність часто є надлишковою й збільшує складність конструкції.

Для локальних і недорогих систем найдоцільнішими часто виявляються саме прості аналогові схеми, що включають датчик освітленості, вузол порівняння, виконавчий елемент і джерело живлення. Одним із ключових елементів у такій структурі є компаратор, який визначає, чи досяг сигнал від датчика заданого порогового значення.

1.1 Світлочутливі елементи в пристроях керування освітленням

Основним елементом, що сприймає зміни зовнішньої освітленості, є світлочутливий датчик. У простих схемах автоматичного вмикання світла найчастіше використовують фоторезистори, рідше — фотодіоди та фототранзистори. Вибір датчика залежить від необхідної чутливості, швидкодії, стабільності параметрів і вартості.

Фоторезистор змінює свій опір залежно від освітленості: за яскравого світла опір зменшується, а в темряві — зростає. Завдяки цьому його зручно

використовувати у складі подільника напруги, з якого знімається сигнал для подальшої обробки компаратором. Такий підхід є простим і достатньо ефективним для задачі керування вуличним освітленням (рис.1.1).

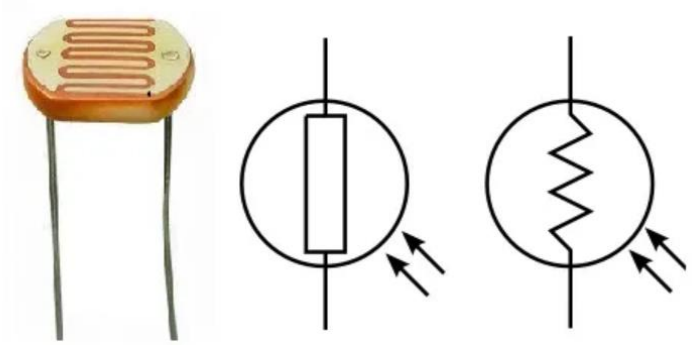


Рисунок 1.1- Зовнішній вигляд та позначення фоторезистору на електричній схемі [2]

Перевагами фоторезистора є доступність, широка зміна опору та простота узгодження зі схемою. До недоліків належать певна інерційність, розкид характеристик та залежність від температури. Проте для систем вуличного освітлення ці обмеження зазвичай не є критичними, оскільки зміна природної освітленості відбувається відносно повільно.

Фотодіоди (рис.1.2) та фототранзистори (рис.1.3) можуть забезпечувати кращу швидкодію й стабільність, але часто потребують додаткових підсилювальних каскадів або складнішого узгодження зі схемою. Саме тому для простих і недорогих конструкцій фоторезистор залишається найпоширенішим вибором.

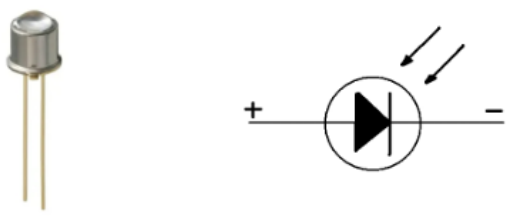


Рисунок 1.2- Зовнішній вигляд та позначення фотодіода на електричній схемі



Рисунок 1.3- Зовнішній вигляд та позначення фототранзистора на електричній схемі

У практичних пристроях велике значення має правильне розташування датчика. Він повинен реагувати саме на рівень зовнішнього освітлення, а не на світло від власних ламп, інакше можливе хибне або циклічне спрацьовування. Тому датчик розміщують так, щоб мінімізувати вплив керованого світильника.

Підсилення сигналу після фотоприймача є критичним етапом, оскільки вихідний струм фотодіода зазвичай дуже малий (мікроампери або наноампери), тож обов’язковим є використання підсилювачів.

1.2 Операційні підсилювачі: загальні відомості та принцип роботи

Операційним підсилювачем (ОП) називають інтегральний підсилювач постійного струму з диференціальним входом і двотактним виходом, призначений для роботи з колами зворотних зв'язків. Назва підсилювача обумовлена первісною областю його застосування – виконанням різних операцій над аналоговими сигналами (додавання, віднімання, інтегрування та ін.). В даний час ОП виконують роль багатофункціональних вузлів при реалізації різноманітних пристроїв електроніки різного призначення. Вони застосовуються для підсилення, обмеження, перемноження, частотної фільтрації, генерації, стабілізації і т.д. сигналів в пристроях безперервної та імпульсної дії. [3]

Необхідно відзначити, що сучасні монолітні ОП за своїми розмірами і ціною незначно відрізняються від окремих дискретних елементів, наприклад, транзисторів. Тому виконання різних пристроїв на ОП часто здійснюється значно простіше, ніж на дискретних елементах.

1.2.1 Параметри, класифікація та позначення операційних підсилювачів

Параметри ОП, що характеризують його якість, дуже численні та основні з них наведені нижче. Параметри ОП можна розділити на кілька груп.

1. Вхідні параметри, що визначаються властивостями вхідного диференціального каскаду.

Напруга зміщення ($U_{зм}$) – напруга, яку потрібно докласти між входами ОП для одержання нуля на виході ОП.

Середній вхідний струм ($I_{вх}$) – середнє арифметичне значення вхідних струмів, виміряних при такій вхідній напрузі, при якій вихідна напруга ОП дорівнює нулю.

Різниця вхідних струмів ($\Delta I_{вх}$) – абсолютне значення різниці струмів двох входів підсилювача, виміряних тоді, коли напруга на виході ОП дорівнює нулю. Температурний дрейф вхідного струму ($\Delta I_{вх} / \Delta T$) – коефіцієнт, рівний відношенню максимальної зміни вхідного струму ОП до викликаної їм зміни навколишньої температури.

Температурний дрейф вхідних струмів призводить до додаткової похибки.

Значення температурних коефіцієнтів вхідного струму та різниці вхідних струмів ОП наводяться у довідкових даних усередненими у певному температурному діапазоні.

Оскільки вхідні струми ОП є базовими струмами вхідних транзисторів, їх значення і дрейф залежать також від коефіцієнта посилення транзистора за струмом β_T. Враховуючи, що тимчасовий дрейф β_T транзистора порівняно великий, значення тимчасового дрейфу вхідних струмів ОП теж порівняно велике.

Вхідний опір ($R_{вх}$) – опір одного з входів ОП, тоді як інший вхід закорочений. Цей опір також називають вхідним опором для диференціального сигналу.

Вхідний опір для синфазного сигналу ($R_{сф}$) – величина, що дорівнює відношенню збільшення синфазної вхідної напруги до збільшення середнього вхідного струму ОП ($R_{сф}$ зазвичай на 1-2 порядку більше $R_{вх}$).

Максимальні вхідна диференціальна ($U_{вх.д.max}$) та синфазна ($U_{вх.сф.max}$) напруги. [4]

1.2.2 Передавальні параметри

Коефіцієнт посилення ($K_{UOП}$) – відношення збільшення значення вихідної напруги до зміни диференціальної вхідної напруги (сигналу), що викликало його.

Коефіцієнт ослаблення синфазного сигналу ($К_{ос.сф}$) – відношення коефіцієнта посилення диференціального сигналу $K_{UOП}$ до коефіцієнта посилення синфазного сигналу $К_{п.сф}$ ($К_{п.сф}$ визначається як відношення зміни вихідної напруги до викликаної їм зміни синфазного вхідного сигналу). $К_{ос.сф}$ зазвичай виражається в децибелах, $К_{ос.сф} = 20lg(K_{UOП}/К_{п.сф})$.

Частота одиничного посилення ($f_{од}$) – частота, на якій модуль коефіцієнта посилення ОП дорівнює одиниці. Частота одиничного посилення при стовідсотковому негативному зворотному зв’язку (НЗЗ) з ланцюгами корекції частотної характеристики ОП називається частотою зрізу ($f_{зр}$). [5]

1.2.3 Вихідні параметри, що визначаються властивостями вихідного каскаду ОП

Вихідний опір ($R_{вих}$) – відношення збільшення вихідної напруги ОП до викликаної їм активної складової вихідного постійного чи змінного струму.

Максимальний вихідний струм ($I_{max.вих}$) – гранична амплітуда вихідного струму, який може бути дано у навантаження.

Максимальна потужність розсіювання ($P_{макс}$) – максимально допустима потужність, яка може бути розсіяна ОП за наявності вхідної напруги та підключеного навантаження.

Максимальна вихідна напруга ($U_{вих.max}$) у діапазоні лінійного посилення.

Більшості типів ОП величина $U_{вих.max}$ = 10 В.

1.2.4 Перехідні параметри

Гранична частота ($f_{гр}$) – максимальна частота синусоїдального сигналу, при якій зберігається гарантований ефективний діапазон синусоїдальної вихідної напруги ОП.

Максимальна швидкість наростання вихідної напруги ($V_{Uвих}$) – найбільша швидкість зміни вихідної напруги ОП при подачі на його вхід імпульсу прямокутної форми максимально допустимої амплітуди.

Час відновлення вихідної напруги – час з моменту зняття вхідної напруги до моменту, при якому $U_{вих} = 0.1U_{нас}$, де $U_{нас}$ – напруга насичення ОП. Час встановлення вихідної напруги – час, протягом якого вихідна напруга ОП змінюється від рівня 0,1 до рівня 0,9 від значення при аперіодичному процесі і при впливі на вхід, напруги прямокутної форми.

1.2.5 Параметри ланцюга живлення

Коефіцієнт впливу нестабільності джерела живлення ($К_ж$) – відношення зміни напруги зсуву до зміни його одного з живильної напруги $\Delta E_ж$.

Напруга ланцюга живлення ($\pm E_ж$). Споживаний струм ($I_{сп}$). [6]

Шумові характеристики ОП. Еквівалентна схема ОП з шумовими джерелами напруги та струму показана на рис. 1.4. Напруга шуму включає три некорельовані складові: $U_{ш1}$ − складову, обумовлену тепловим шумом (білий шум), $U_{ш2}$ − складову, обумовлену дифузією неосновних носіїв, $U_{ш3}$ − складову, спричинену поверхневими явищами в напівпровіднику:

$$U_ш = \sqrt{U_{ш1}^2 + U_{ш2}^2 + U_{ш3}^2}, В \qquad (1.1)$$

Значення шумового струму залежить від вхідного струму та смуги пропускання ОП:

$$i_ш = \sqrt{2 \cdot q \cdot i_{вх} \cdot \Delta f}, А \qquad (1.2)$$

де q – заряд електрона.

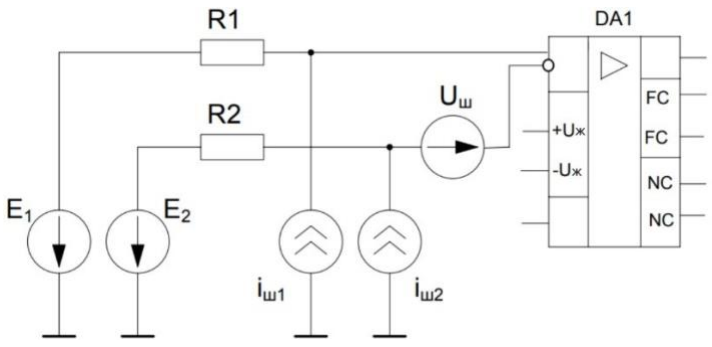


Рисунок 1.4 – Еквівалентна схема ОП із шумовими джерелами

Операційні підсилювачі, що виконуються у вигляді монолітних ІМС, можна класифікувати в такий спосіб.

1. За типом транзисторів, що використовуються у вхідних каскадах:

– ОП на біполярних транзисторах, що мають малу напругу зміщення нуля, але значні вхідні струми та порівняно невисокий вхідний опір (~10^6 Ом);

– ОП з польовими транзисторами на вході, в яких досягається високий вхідний опір (~$10^9 \div 10^{12}$ Ом) та малі вхідні струми, але зростає напруга зміщення нуля.

2. По вихідній потужності:

– стандартні ОП, які віддають у навантаження із опором $R_н \geq 2$ кОм номінальну вихідну потужність ~50 мВт;

– потужні ОП з вихідною потужністю від одиниць до кількох десятків ватів;

– мікропотужні ОП, у яких потужність, що споживається у режимі спокою, дуже мала (~10-6 Вт).

3. По галузі застосування:

– ОП загального застосування, що характеризуються низькою вартістю, малими розмірами, широким діапазоном напруги живлення, захищеним входом та виходом, не дуже високою частотою;

– спеціальні ОП, які, у свою чергу, поділяються на прецизійні, вимірювальні, електрометричні ОП, тощо.

Операційні підсилювачі характеризуються високим коефіцієнтом підсилення, великим вхідним та малим вихідним опорами, а також низьким рівнем шуму при хорошій температурної стабільності. ОП здатний стійко працювати при замкнутому ланцюзі зворотного зв'язку.

Вхідний каскад операційного підсилювача виконується як диференціальний підсилювач, тому він має два входи і реагує тільки на різницю прикладених напруг, тобто на диференціальний сигнал.

Позначення елементів аналогової техніки, до яких належить і ОП, виконують на основі прямокутника (рис. 1.5). Він може містити основне та одне або два додаткові поля, розташовані по обидва боки від основного. На схемах підсилювач зазвичай позначається трикутником на основному полі. Праворуч від нього вказують коефіцієнт посилення. Якщо конкретне значення коефіцієнта посилення несуттєве, його допускається не вказувати (можна також виносити знак нескінченності ∞). [7]

Виводи ОП поділяються на вхідні, вихідні та виводи, що не несуть функціонального навантаження, до яких підключаються ланцюги напруги живлення та елементи, що забезпечують нормальну роботу ОП.

Входи показують ліворуч, вихід – праворуч.

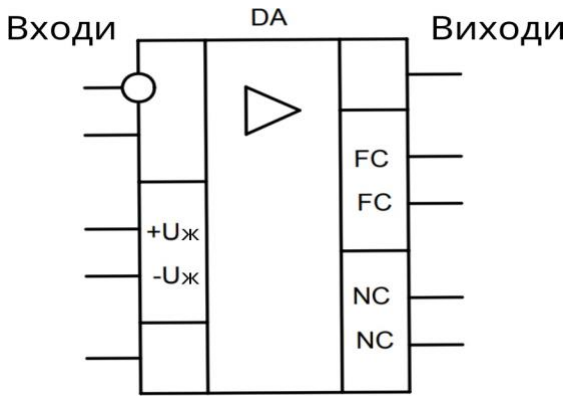


Рисунок 1.5 – Графічне позначення ОП

Більшість ОП мають один несиметричний вихід та два входи, симетричних по відношенню до загального виводу. Прямі входи та виходи позначають лініями, приєднаними до контуру графічного зображення ОП без будь-яких знаків, а з кружками в місці приєднання – інверсні входи та виходи. Прямий вхід ще називають неінвертуючим, оскільки фаза вихідного сигналу збігається з фазою сигналу, поданого на його вхід. Інший вхід називають інвертуючим, оскільки фаза вихідного сигналу зсунута на 180° щодо вхідного сигналу (на середніх частотах і при чистому активному навантаженні). Тому входи мають на вихідну напругу

рівний в кількісному відношенні, але протилежний за знаком, вплив. Якщо до входів прикладено синфазні, діючі одночасно, однакові за величиною та фазою щодо загального виводу сигнали, їх вплив буде взаємно компенсовано і вихід матиме нульовий потенціал. Завдяки цьому параметру, ОП мало чутливі до змін напруги живлення, температури та інших зовнішніх факторів. Напруга на виході ОП має бути лише в тому випадку, коли на його входах діють різні по рівню та фазі сигнали. Вихідна напруга пропорційна різниці рівнів вхідних сигналів, що називається диференціальним сигналом. Вихідна напруга ОП вимірюється щодо загального виводу.

Щоб забезпечити можливість роботи ОП як з позитивними, так і негативними вхідними сигналами, потрібна двополярна напруга живлення. При двополярному живленні постійна напруга на несиметричному виході відсутня за умови, що постійних напруг на вході ОП немає.

Наявність розглянутих виводів необхідна для функціонування ОП. До допоміжних належать: виводи з позначками FC – для приєднання ланцюга, що коригує АЧХ ОП, виводи NC – для підключення елементів балансування по постійному струму (встановлення нуля на виході при $U_1 = U_2 = 0$), а також вивід металевого корпусу (⊥) для з'єднання із загальним проводом пристрою, яке входитиме до ОП.

Для більшої наочності схем допускається спрощене позначення ОП, у якому зберігається лише основне поле та сигнальні виводи (рис. 1.6). Загальний вивід може бути не показаний.

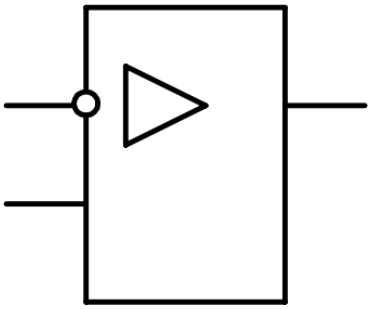


Рисунок 1.6 – Спрощене позначення ОП

ОП спеціально створені для використання в схемах з глибоким негативним зворотним зв'язком (НЗЗ) так, щоб параметри пристроїв визначалися переважно параметрами ланцюга НЗЗ, а сам він був функціонально непомітний. Такий ОП за своїми характеристиками має наближатися до ідеального. З ідеальним ОП зазвичай пов'язують такі властивості: нескінченно великий коефіцієнт посилення в нескінченно великій смузі пропускання, нескінченний вхідний та нульовий вихідний опір. Крім того, підсилювач не повинен мати статичних помилок, що змінюються від температури та часу.

Ці властивості навіть теоретично повністю неможливо досягти, оскільки більшість з них вимагає нескінченної потужності вихідного сигналу при малих геометричних розмірах напівпровідникової структури. Тому в кожному випадку можна говорити лише про доступний ступінь наближення до ідеальних властивостей. Наприклад, якщо коефіцієнт підсилення пристрою, що визначається ланцюгом зворотного зв’язку (ЗЗ), дорівнює 10, то коефіцієнт посилення власне операційного підсилювача, тобто без ЗЗ, дорівнює 10^5, і з практичної точки зору досить близький до нескінченності. На рис. 1.7 наведено передавальну характеристику ОП (1 − для прямого входу, 2 − для інверсного входу). [6]

Як і всі електронні прилади, операційні підсилювачі характеризуються своїми параметрами – основними показниками, за якими вибирають той чи інший прилад для застосування у реальній схемі.

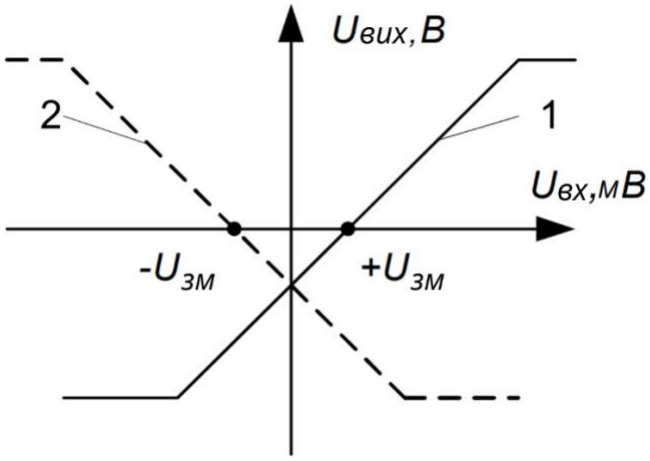


Рисунок 1.7 – Передавальна характеристика ОП

1.2.6 Компенсація напруги зміщення операційних підсилювачів

Практично напруга зміщення $U_{зм}$ компенсується або балансуванням вхідного каскаду ОП (для цих цілей в ОП є спеціальні виводи), або включенням напруги, що компенсує, на один із входів ОП. При зміні температури з'являється додаткова складова напруги зміщення $\Delta U_{зм} = \Delta T° dU_{зм}/dT°$, де $dU_{зм}/dT$ – коефіцієнт впливу температури на $U_{зм}$. Внаслідок прогріву кристала мікросхеми або при швидкій зміні температури напруга зміщення може зазнавати значних змін. Залежно від розмірів кристала перехідний процес у повітрі встановлюється протягом 1 – 500 мкс (при включенні живлення). Швидка зміна навантаження також призводить до нерівномірного нагрівання кристала. Характер зміни $U_{зм}$ у часі при включенні живлення (повільний прогрів) і стрибкоподібній зміні температури або навантаження показано на рис. 1.8.

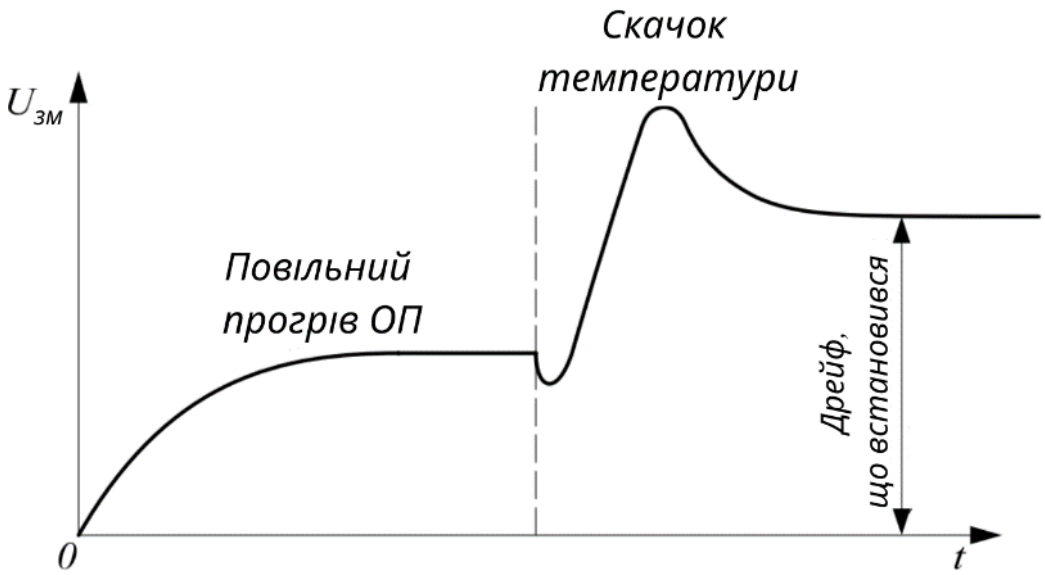


Рисунок 1.8 – Характер зміни $U_{зм}$

Компенсація $U_{зм}$ за допомогою балансування вхідного каскаду ОП призводить до додаткової похибки від температурного дрейфу. Так, якщо за допомогою змінного резистора, підключеного до спеціальних виводів ОП, збалансований перший (вхідний) каскад, то температурний дрейф напруги зміщення збільшиться порівняно з вихідним температурним дрейфом приблизно на величину $d(\Delta U_{ЗМ})/dT° = \Delta U_{ЗМ}/300$, де $\Delta U_{зм}$ – величина скомпенсованої напруги зміщення, мВ. Ця формула справедлива для диференціальних вхідних каскадів ОП, в емітерних ланцюгах яких відсутні резистори. Якщо такі резистори є, то цей температурний дрейф зменшується пропорційно відношенню повного опору емітерного ланцюга до динамічного опору емітера. Для диференціальних каскадів ОП, побудованих на польових транзисторах, збільшення температурного дрейфу приблизно таке ж, як і для каскадів з біполярними транзисторами (приблизно 3 мкВ/°С), однак, напруга зміщення у ОП з польовими транзисторами зазвичай значно більша.

Компенсація $U_{зм}$ шляхом підключення на вході ОП спеціальної ланцюга, що формує компенсуючу напругу, не призводить до додаткового

зростання температурного дрейфу. На рис. 1.9 (а – г) показані типові схеми ланцюгів регулювання напруги зміщення нуля для інвертуючого, неінвертуючого та диференціального підсилювачів відповідно. Регулювання напруги зміщення в цих схемах здійснюється введенням на відповідний вхід ОП компенсуючої напруги. [8]

Розрахунок компенсуючого ланцюга здійснюється, виходячи з умови забезпечення на резисторі R4 напруги дещо більшої, ніж $\pm U_{зм}$, при цьому R4 > R3. Потенціометр R5 (5 – 10 кОм) зазвичай підключається до джерел живлення ОП. Опір резисторів R3 у схемах на рис. 1.9, необхідно вибирати такої величини, щоб при зміні R5 коефіцієнт передачі підсилювачів змінювався в межах заданої похибки.

Для компенсації температурного дрейфу напруги зміщення використовується метод термокомпенсації, що ґрунтується на ідентичності залежностей температурного дрейфу біполярного ОП та прямозміщеного p-n-переходу. На рис. 1.9 (г) показана термокомпенсуючий ланцюг, в якому напруга на регулюючому потенціометрі R1 формується за допомогою переходу база – емітер транзистора V1. Струм, що протікає через резистор R2, ділиться на струм через резистор R3 і струм через V1. Струм, що протікає через R3, створює напругу керування транзистором. Якщо струм бази V1 набагато менше струму через резистор R3, то струм корекції зміщення дорівнюватиме $U_{зм}$ / R3. Дана схема використовується для ОП, у вхідному диференціальному каскаді якого відсутні резистори в емітерних ланцюгах. Якщо такі резистори є, то в емітерний ланцюг транзистора V1 необхідно включити резистор приблизно такої ж величини, як і в емітерних ланцюгах вхідного каскаду ОП. [9]

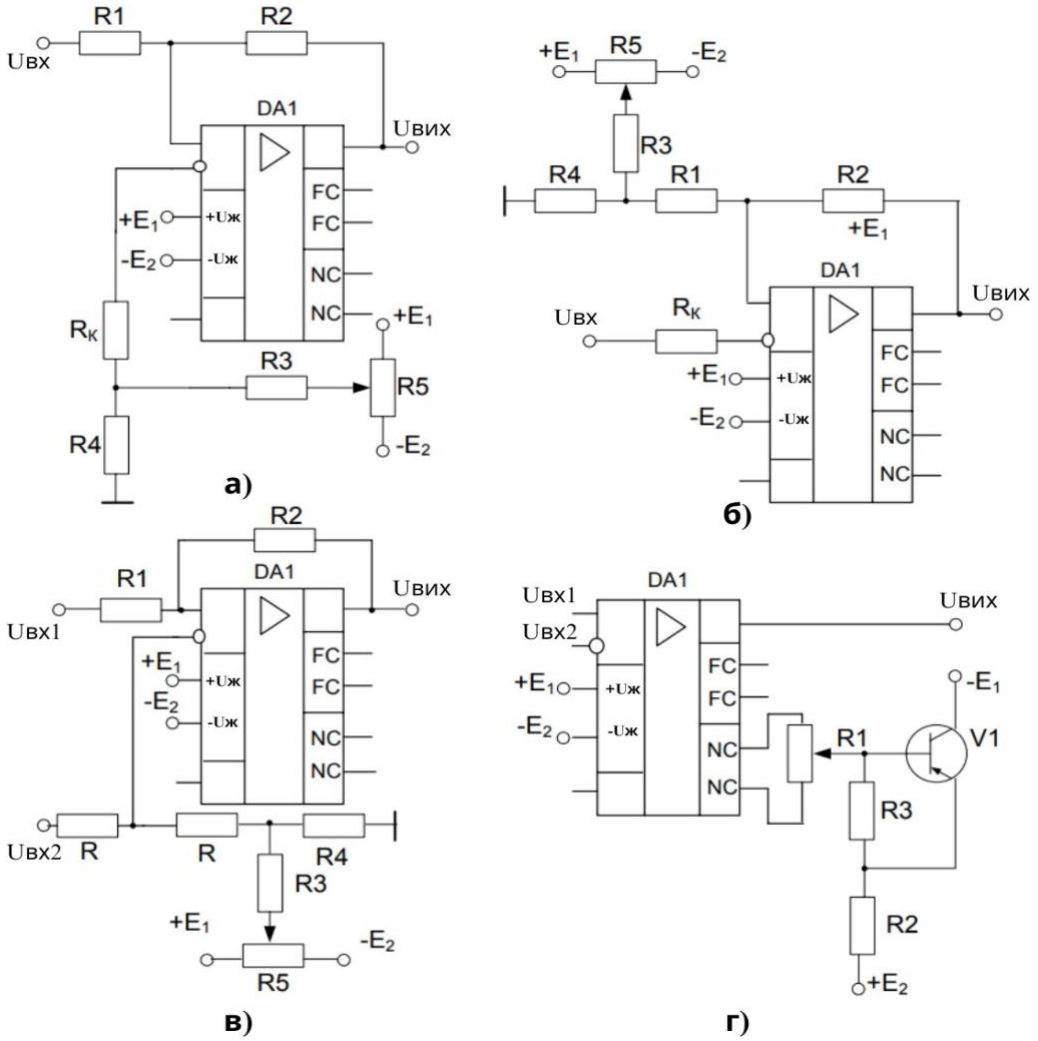


Рисунок 1.9– Схеми регулювання зміщення нуля інвертуючого (а) неінвертуючого (б), диференціального (в) підсилювачів та ОП, з спеціальними виводами (г)

1.2.7 Стійкість операційних підсилювачів до самозбудження

Для підсилювача, що інвертує (рис. 1.10, а) коефіцієнт передачі можна представити у наступному вигляді:

$$K_{інв.}(p) = \frac{1 - \frac{1}{\beta(p)}}{1 + \frac{1}{K_п(p) \cdot \beta(p)}} \qquad (1.3)$$

де β(p) – коефіцієнт передачі ланцюга НЗЗ; $K_у(p)$ β(p) – петльове посилення.

Коефіцієнт передачі неінвертуючого підсилювача, (рис. 1.7, б):

$$K_{неінв.}(p) = \frac{\frac{1}{\beta(p)}}{1 + \frac{1}{K_п(p) \cdot \beta(p)}} \qquad (1.4)$$

Для обох схем підсилювачів умова самозбудження характеризується балансом амплітуд та балансом фаз:

$$|K_п(p)| = \left|\frac{1}{\beta(p)}\right|, \quad \varphi_\alpha - \varphi_\beta \geq 180° \qquad (1.5)$$

де φ_α – фазовий зсув, створюваний ОП; φ_β –фазовий зсув, створюваний зовнішнім ланцюгом.

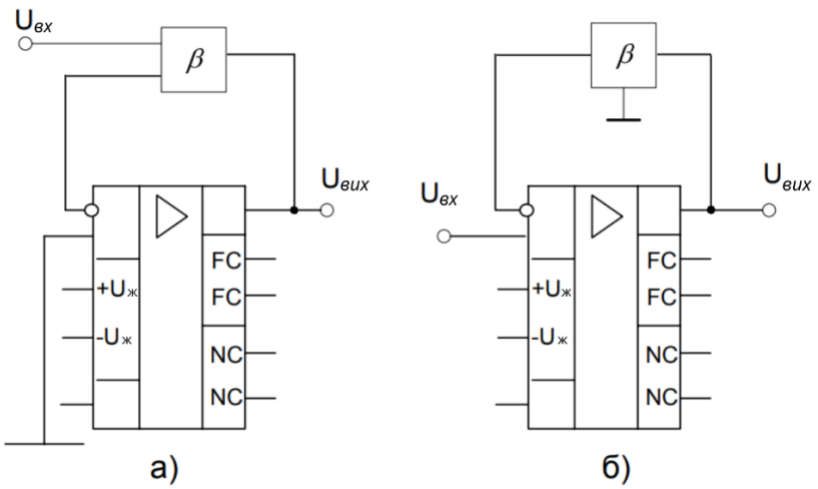


Рисунок 1.10 – Схеми інвертуючого (а) та неінвертуючого (б) ОП

Розглянемо стійкість ОП у замкнутій системі для випадку $\varphi_\beta = 0$. Фазовий зсув ϕ_α визначається кількістю елементарних каскадів, що входять до підсилювального тракту. Під елементарним каскадом розумітимемо каскад, що має функцію передачі 1-го порядку

де K_{01} – коефіцієнт передачі елементарного каскаду на постійному струмі; $\omega_{1гр}$ – верхня гранична частота смуги пропускання елементарного каскаду (за рівнем $0{,}7K_{01}$).

Схема ОП, як правило, включає два – три елементарних каскади. Функцію передачі такого ОП можна представити у такому вигляді:

де $K_{ОП}$ – коефіцієнт передачі ОП на постійному струмі.

Амплітудно-частотна (АЧХ) та фазочастотна (ФЧХ) характеристики елементарного каскаду та трикаскадного ОП показані на рис. 1.11. Для спрощення АЧХ та ФЧХ на даному рисунку апроксимовані прямими лініями, при цьому похибка апроксимації АЧХ на частоті $\omega_{гр}$ не перевищує 3 дБ, а похибка ФЧХ на частотах $0.1\omega_{гр}$ і $10\omega_{гр}$ не перевищує відповідно 5.7° та мінус 5.7°.

Замкнута система з ОП стійка, якщо нахил логарифмічної АЧХ (ЛАЧХ) на частоті одиничного посилення менше – дБ/дек або – 12 дБ/окт (декада – десяткова, октава – двократна зміна частоти). Нахил ЛАЧХ двохкаскадного ОП на будь-якій частоті не перевищує 40 дБ/дек, тобто стійкість такого ОП забезпечується на всьому частотному діапазоні.

Максимальний нахил ЛАЧХ трикаскадного ОП дорівнює 60 дБ/дек. Тому в даному випадку необхідно змістити ЛАЧХ таким чином, щоб ділянка, що має нахил 60 дБ/г, опинилася в області, де модуль коефіцієнта передачі менше одиниці. Це досягається розширенням смуги пропускання двох елементарних каскадів або звуженням відповідних смуг пропускання. [10]

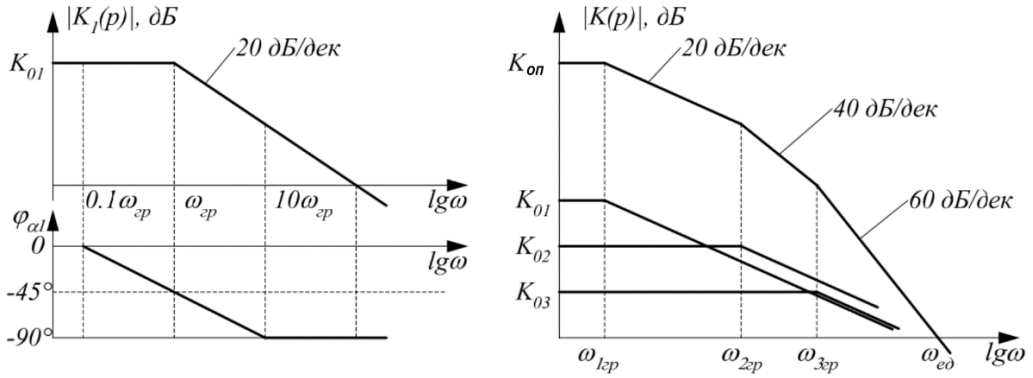


Рисунок 1.11 – Амплітудно-частотна та фазочастотна характеристика каскаду 1-го порядку (а) та амплітудно-частотна характеристика трикаскадного ОП (б)

При виборі операційного підсилювача для системи автоматичного освітлення враховують допустиму напругу живлення, вхідний діапазон, споживаний струм, напругу зміщення та здатність працювати від однополярного джерела.

Таким чином, найбільш доцільною структурою пристрою для керування вуличним освітленням є поєднання світлочутливого датчика, порогового вузла, виконавчого елемента та стабільного джерела живлення. У простих схемах як датчик найчастіше використовується фоторезистор, а центральною ланкою вузла прийняття рішення виступає операційний підсилювач, який працює в режимі компаратора.

Тож метою роботи є розробка пристрою для автоматичного увімкнення вуличного освітлення на основі фоторезистора.

Задачі роботи:

- розробка структурної схеми пристрою;
- розробка схеми електричної принципової;
- розробка топології друкованої плати пристрою для увімкнення вуличного освітлення.

2 ПРИСТРІЙ ДЛЯ АВТОМАТИЧНОГО УВІМКНЕННЯ ВУЛИЧНОГО ОСВІТЛЕННЯ НА ОСНОВІ ФОТОРЕЗИСТОРА

2.1 Вимоги до пристрою керування освітленням

Однією з головних причин впровадження автоматичного керування вуличним освітленням є можливість зменшення непродуктивних витрат електроенергії. Якщо освітлення вмикається лише тоді, коли рівень природного світла справді є недостатнім, скорочується час зайвої роботи світильників, особливо в перехідні сезони та за змінних погодних умов.

Крім прямої економії електроенергії, автоматизація дає змогу зменшити витрати на обслуговування, оскільки відпадає потреба у постійному ручному контролі за станом мережі освітлення. Зниження кількості помилок персоналу та більш стабільний режим роботи позитивно впливають і на ресурс обладнання.

В умовах України питання автоматичного вмикання вуличного освітлення набуває додаткової практичної актуальності через періодичні обмеження електропостачання, аварійні відключення та потребу в ощадному використанні електроенергії. За таких умов системи освітлення мають працювати максимально раціонально: світло повинно вмикатися саме тоді, коли рівень природної освітленості стає недостатнім, і не витрачати електроенергію передчасно або без потреби.

Зв’язок між відключеннями світла та автоматичним керуванням полягає також у підвищенні загальної стійкості системи. Після відновлення електроживлення правильно спроєктований пристрій не потребує повторного ручного налаштування, а одразу переходить у режим, який відповідає

поточному рівню освітленості. Це особливо важливо для вулиць, прибудинкових територій, об’єктів критичної інфраструктури, навчальних закладів і підприємств, де від своєчасної роботи освітлення залежать безпека руху, орієнтація людей у просторі та зниження ризику травматизму.

Поряд із принциповою схемою велике значення має конструктивне виконання пристрою. Для експлуатації на відкритому повітрі або в неопалюваних приміщеннях потрібен корпус, стійкий до вологи, пилу та перепадів температур. Неналежний захист може призвести до корозії контактів, змін параметрів елементів або повної відмови пристрою.

Монтаж датчика освітленості має виконуватися так, щоб він сприймав природне освітлення і водночас був захищений від прямого потрапляння світла від керованого світильника. Конструктивні екрани, правильний кут розташування або виносне встановлення датчика допомагають уникнути самозбудження системи.

Не менш важливим є питання ремонтопридатності. Пристрій повинен мати зрозуміле компонування, надійні з’єднання та можливість заміни основних елементів без складного демонтажу. Для практичних і навчальних конструкцій це має особливе значення, оскільки спрощує обслуговування й експериментальне налагодження.

Таким чином, конструктивні вимоги не можна розглядати окремо від електричної схеми. Саме вдала комбінація схематехнічних і конструктивних рішень забезпечує довготривалу та безпечну роботу пристрою автоматичного увімкнення вуличного освітлення.

2.2 Розробка структурної схеми пристрою

На основі проведеного аналізу та з урахуванням вимог, побудована структурна схема пристрою автоматичного керування вуличним освітленням залежно від рівня зовнішньої освітленості (рис.2.1).

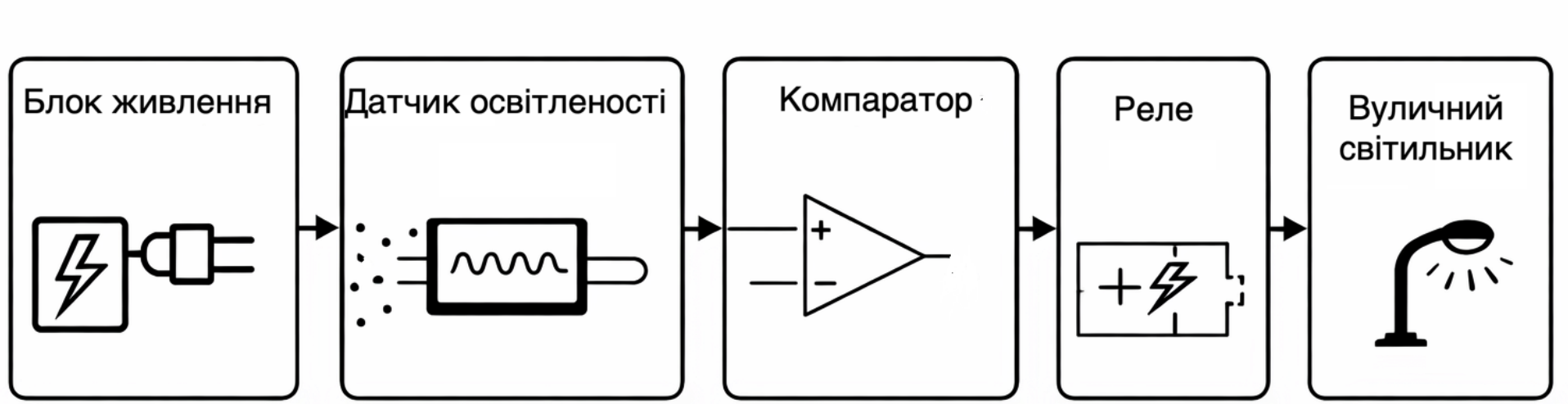


Рисунок 2.1-Структурна схема пристрою для керування вуличним освітленням

Робота пристрою здійснюється послідовною взаємодією функціональних блоків.

Блок живлення забезпечує подачу електричної енергії на всі елементи системи та створює необхідні умови для їх стабільної роботи.

Датчик освітленості виконує контроль рівня навколишнього освітлення та перетворює його у відповідний електричний сигнал.

Сигнал з датчика надходить до компаратора, де він порівнюється із заздалегідь встановленим пороговим значенням. У разі досягнення заданого рівня освітленості компаратор формує керуючий сигнал.

Далі керуючий сигнал подається на реле, яке здійснює комутацію силового кола живлення.

Вуличний світильник є виконавчим елементом системи та вмикається або вимикається залежно від стану реле.

2.3 Вибір елементної бази та розрахунок елементів схеми

Під час розробки пристрою автоматичного керування вуличним освітленням було обрано елементну базу, що здатна забезпечити необхідні функціональні характеристики, достатню надійність роботи, простоту реалізації, економічну доцільність та доступність компонентів.

Для живлення низьковольтної частини схеми використано понижувальний трансформатор X1, який забезпечує зниження мережевої напруги 230 В до рівня, придатного для подальшого випрямлення та стабілізації. Він забезпечує гальванічну розв’язку між мережею змінного струму та електронною частиною пристрою, що підвищує електробезпеку системи. Крім того, трансформаторне джерело живлення характеризується надійністю, простотою побудови та стабільністю роботи, що є важливим для стаціонарних пристроїв зовнішнього освітлення.

Для перетворення змінної напруги вторинної обмотки трансформатора у постійну застосовано діодний міст BR1. Він забезпечує випрямлення обох напівперіодів змінної напруги, що підвищує ефективність роботи джерела живлення та дозволяє отримати більш рівномірну випрямлену напругу.

Для згладжування пульсацій випрямленої напруги використано конденсатор C1 великої ємності. Його застосування обумовлене необхідністю зменшення амплітуди пульсацій на виході випрямляча, що забезпечує більш стабільне живлення стабілізатора напруги та інших функціональних вузлів схеми. Наявність цього елемента позитивно впливає на стійкість роботи всієї системи та знижує ймовірність помилкових спрацювань.

У схемі використовується понижувальний трансформатор із вторинною напругою 15 В змінного струму.

Амплітудне значення напруги після вторинної обмотки трансформатора визначається за формулою:

$$U_m = U_2 \cdot \sqrt{2}$$

де U_2 = 15 В - діюче значення вторинної напруги трансформатора.

Тоді: $U_m = 15 \cdot 1{,}41 = 21{,}15$ В.

Після проходження через діодний міст частина напруги втрачається на двох діодах. Для кремнієвих діодів падіння напруги на одному діоді становить приблизно 0,7 В, тому:

$$U_{DC} \approx 21{,}15 - 2 \cdot 0{,}7 = 19{,}75 \text{ В}.$$

Отже, після випрямлення і згладжування на конденсаторі C1 формується постійна напруга U ≈ 19,5-20 В. Цього значення достатньо для нормальної роботи стабілізатора LM7812, який потребує вхідної напруги, більшої за 12 В на величину мінімального запасу по стабілізації.

Ємність фільтрувального конденсатора C1

визначається за формулою:

$$C = I_н / (f \cdot \Delta U),$$

де $I_н$ - струм навантаження; f - частота пульсацій після двопівперіодного випрямлення, f = 100 Гц; ΔU - допустима амплітуда пульсацій.

Оцінимо струм навантаження. Основними споживачами є реле - приблизно 40-70 мА; операційний підсилювач - близько 2-3 мА; світлодіоди та допоміжні кола - близько 10-20 мА. Приймемо загальний струм Ін ≈ 0,08 А.

Допустимі пульсації приймемо ΔU = 1 В.

Тоді: C = 0,08 / (100 • 1) = 0,0008 Ф = 800 мкФ.

У схемі використано конденсатор C1 = 1000 мкФ. Отже, вибране значення 1000 мкФ є достатнім і забезпечує належне згладжування випрямленої напруги.

Для формування стабільної постійної напруги живлення в схемі використано інтегральний стабілізатор LM7812 (рис.2.2), що забезпечує фіксовану вихідну напругу 12 В, яка є достатньою для живлення компаратора, транзисторного ключа та реле. Застосування LM7812 дозволяє мінімізувати вплив коливань вхідної напруги на роботу керуючої частини пристрою.



Рисунок 2.2 -Зовнішній вигляд та призначення виводів LM7812 [11].

Основні характеристики LM7812:

Вихідна напруга: 12 В (стабільна).

Максимальний вихідний струм: 1.5 А (в корпусі TO-220).

Вхідна напруга (рекомендована): від 15 до 25 В.

Максимальна вхідна напруга: до 35 В.

Тип корпусу: зазвичай TO-220.

Захист: вбудований захист від короткого замикання та перегріву.

Стабілізатор LM7812 формує стабільну вихідну напругу $U_{out} = 12$ В.

Вхідна напруга: $U_{in(min)} > U_{out} + U_{drop}$.

Для стабілізатора типу 7812 мінімальний перепад напруги становить приблизно $U_{drop} \approx 2$ В.

Тобто: $U_{in(min)} > 12 + 2 = 14$ В.

Оскільки фактична напруга після випрямляча становить близько 19,75 В, умова виконується: 19,75 > 14.

Потужність, яку розсіює стабілізатор LM7812, визначається за формулою:

$$P_{stab} = (U_{in} - U_{out}) \cdot I_н.$$

$$P_{stab} = (19,75 - 12) \cdot 0,08 = 7,75 \cdot 0,08 = 0,62 \text{ Вт}.$$

Як чутливий елемент для визначення рівня освітленості обрано фоторезистор LDR1. Даний компонент змінює свій електричний опір залежно від інтенсивності падаючого світла, що дозволяє безпосередньо використовувати його у схемах автоматичного керування освітленням. Використання фоторезистора є технічно виправданим через його простоту, низьку вартість, достатню чутливість та відсутність необхідності в складних допоміжних вузлах узгодження.

Для налаштування порога спрацювання пристрою використано змінний резистор VR1. Його наявність дає змогу змінювати опорну або порогову напругу, при якій схема переходить зі стану очікування у стан спрацювання. Це забезпечує можливість адаптації пристрою до різних умов експлуатації, зокрема до сезонних змін тривалості світлового дня, особливостей місця встановлення та рівня стороннього освітлення.

Резистори R1–R6, що входять до складу схеми, забезпечують формування необхідних режимів роботи окремих елементів. Вони використовуються для обмеження струму через світлодіоди, побудови подільників напруги, задання режиму роботи компаратора та обмеження базового струму транзистора. Застосування резисторів є необхідним для забезпечення коректного функціонування електронних компонентів та захисту їх від перевантаження.

Для реалізації функції порівняння сигналів у схемі використано мікросхему LM741, яка працює в режимі компаратора (рис. 2.3). У даному пристрої мікросхема виконує функцію порівняння напруги, що формується подільником за участю фоторезистора, з напругою опорного рівня. У разі досягнення встановленого порога на виході компаратора формується керуючий сигнал для наступного каскаду. Однією з типових проблем порогових схем є нестійка робота поблизу точки спрацювання. У реальних умовах освітленість змінюється неідеально плавно: на датчик можуть впливати хмари, фари автомобілів, відблиски та електричні завади. Якщо поріг лише один, вихідний сигнал може багаторазово перемикатися поблизу цього рівня. Для усунення такого явища застосовують гістерезис. У цьому випадку поріг увімкнення і поріг вимкнення не збігаються, а між ними виникає зона нечутливості. Завдяки цьому випадкові коливання сигналу не викликають повторних перемикань, а робота схеми стає стабільнішою.

У схемах на операційних підсилювачах гістерезис часто реалізують за допомогою позитивного зворотного зв’язку. Частина вихідної напруги повертається на вхід і змінює порогове значення залежно від поточного стану виходу. Це наближає схему до принципу дії тригера Шмітта.

Для пристрою автоматичного увімкнення вуличного освітлення введення гістерезису є дуже важливим, оскільки запобігає мерехтінню ламп, зменшує кількість перемикань і підвищує довговічність як виконавчого елемента, так і самого джерела світла.

Таблиця 2.1 -Електричні характеристики LM741 [12].

Параметри	LM741
Вхідна напруга зміщення (мВ)	5
Вхідний струм зміщення (нА)	500
Вхідний струм зміщення (нА)	200
Вхідний опір (МОм)	2
Великий коефіцієнт посилення сигнальної напруги (В/мВ)	200
Струм живлення (мА)	2.8
Вихідний опір (Ом)	75
Напруга живлення (В)	±15

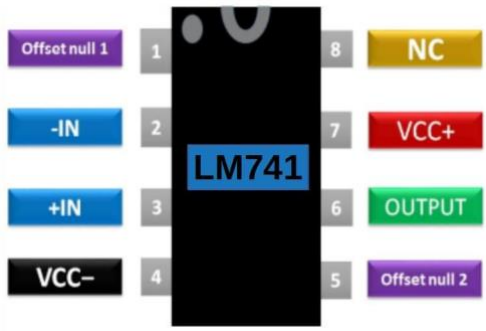


Рисунок 2.3- Призначення виводів мікросхеми LM741

Моделювання роботи компаратора проводилося в програмі Multisim. (рис.2.4,2.5). Щоразу, коли синусоїда перевищує нульовий рівень напруги, на виході отримуємо прямокутну хвилю. Компаратор генерує вихідні напруги +15 та -15. Імітація роботи мікросхеми LM741 проводилась в програмному середовищі Every Circuit (рис. 2.6, 2.7)

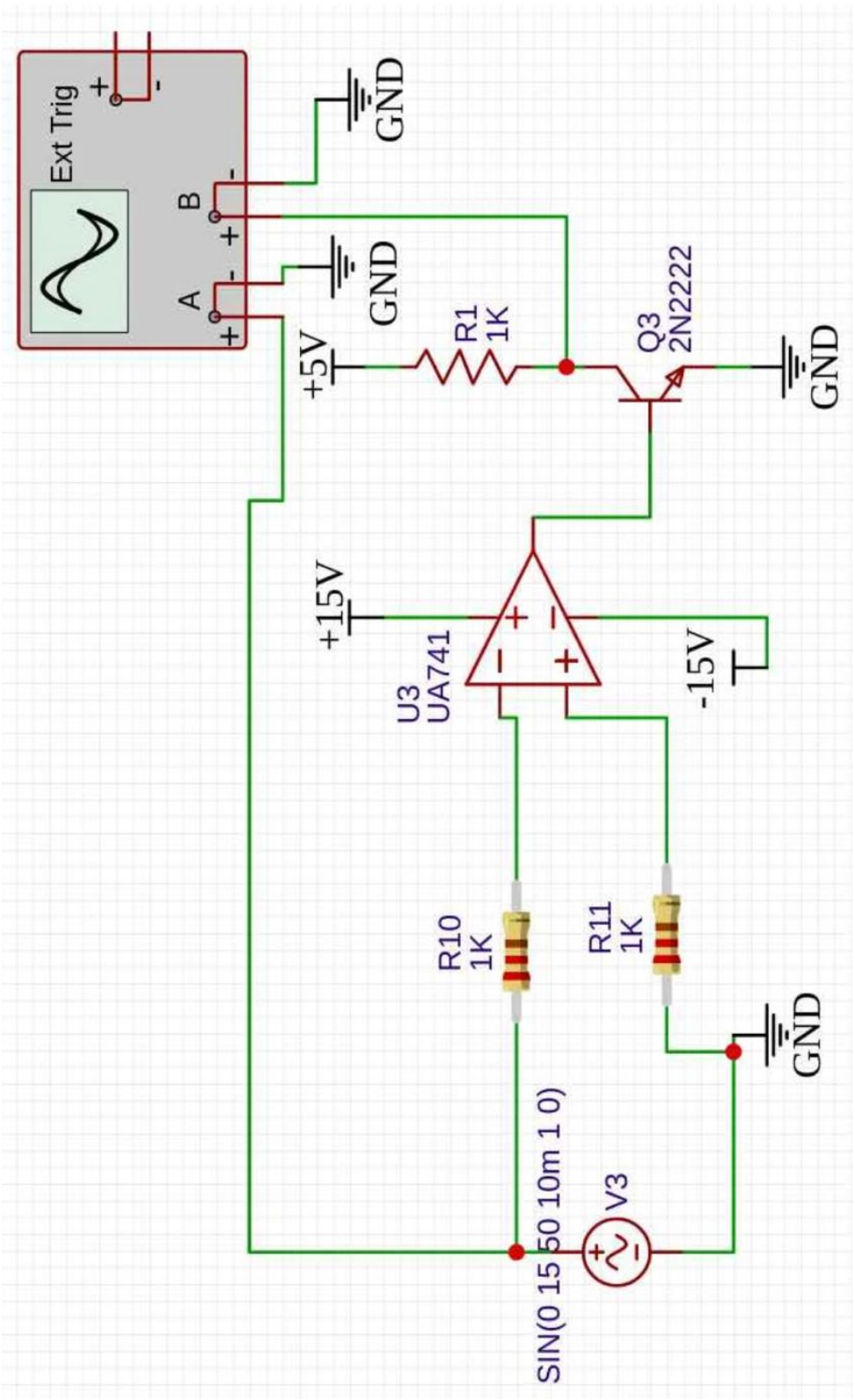


Рисунок 2.4 - Моделювання роботи компаратора в програмі Multisim

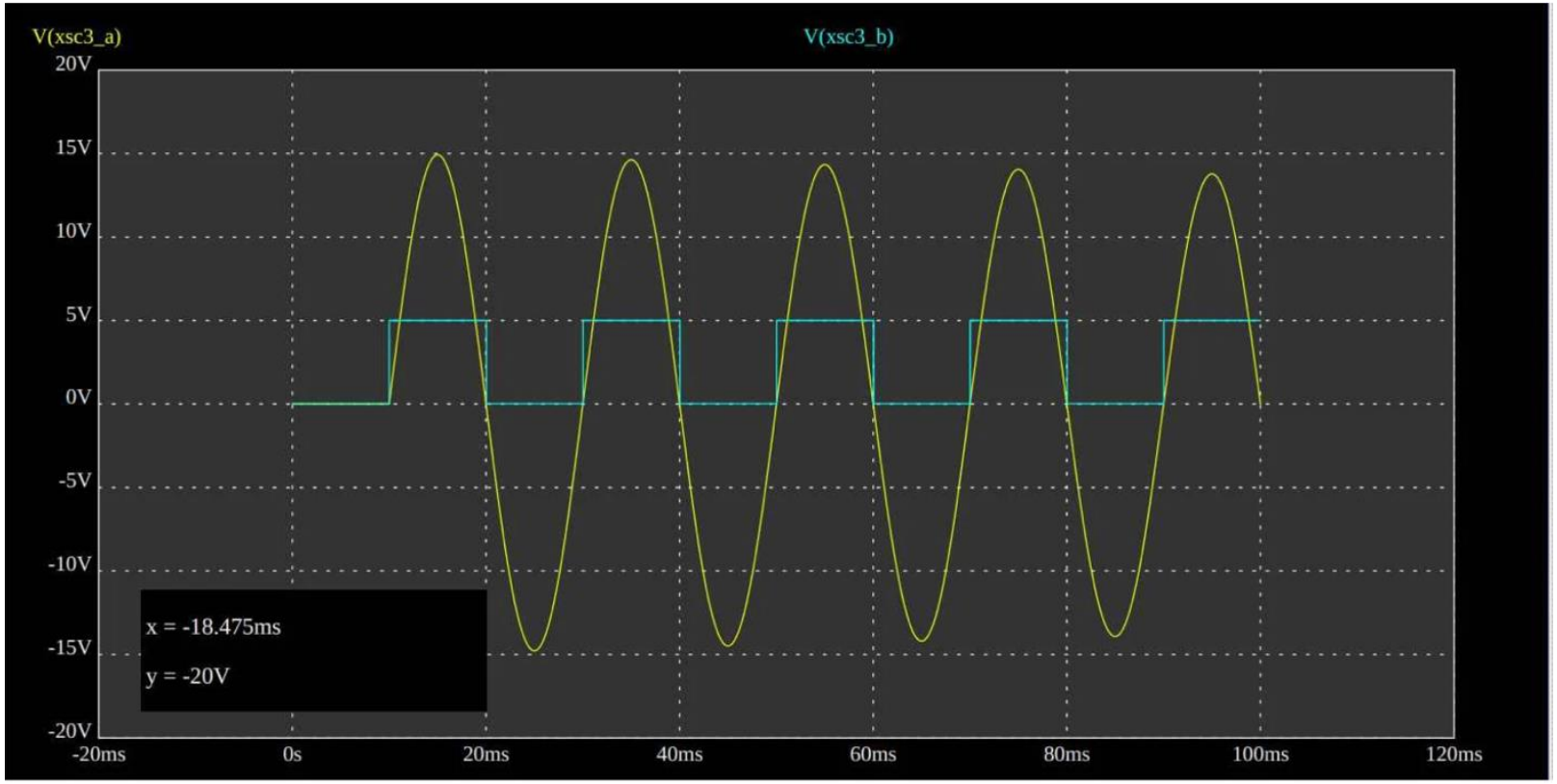


Рисунок 2.5 – Результати моделювання роботи компаратора в програмі Multisim

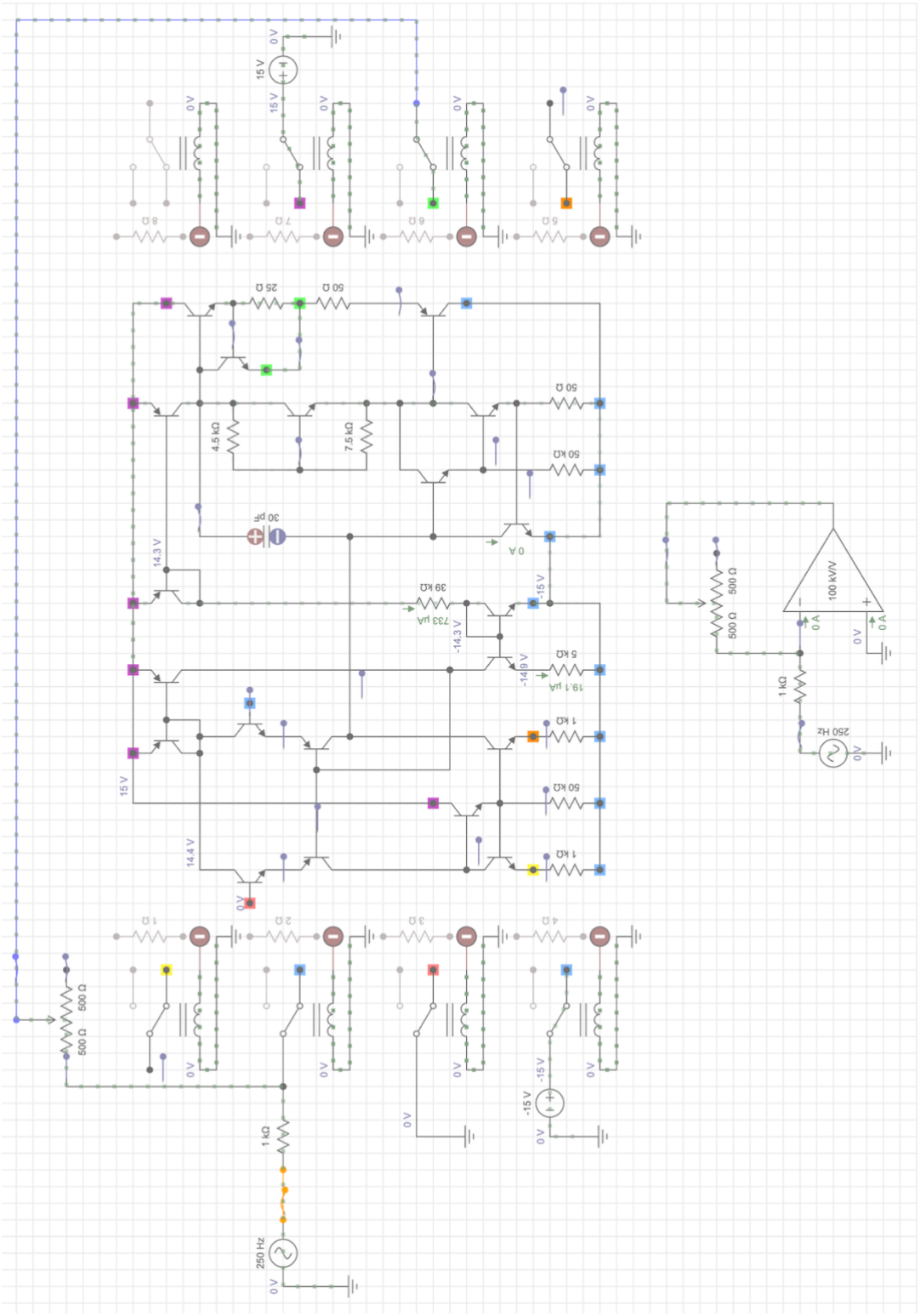


Рисунок 2.6 – Моделювання роботи LM741 в програмному середовищі Every Circuit

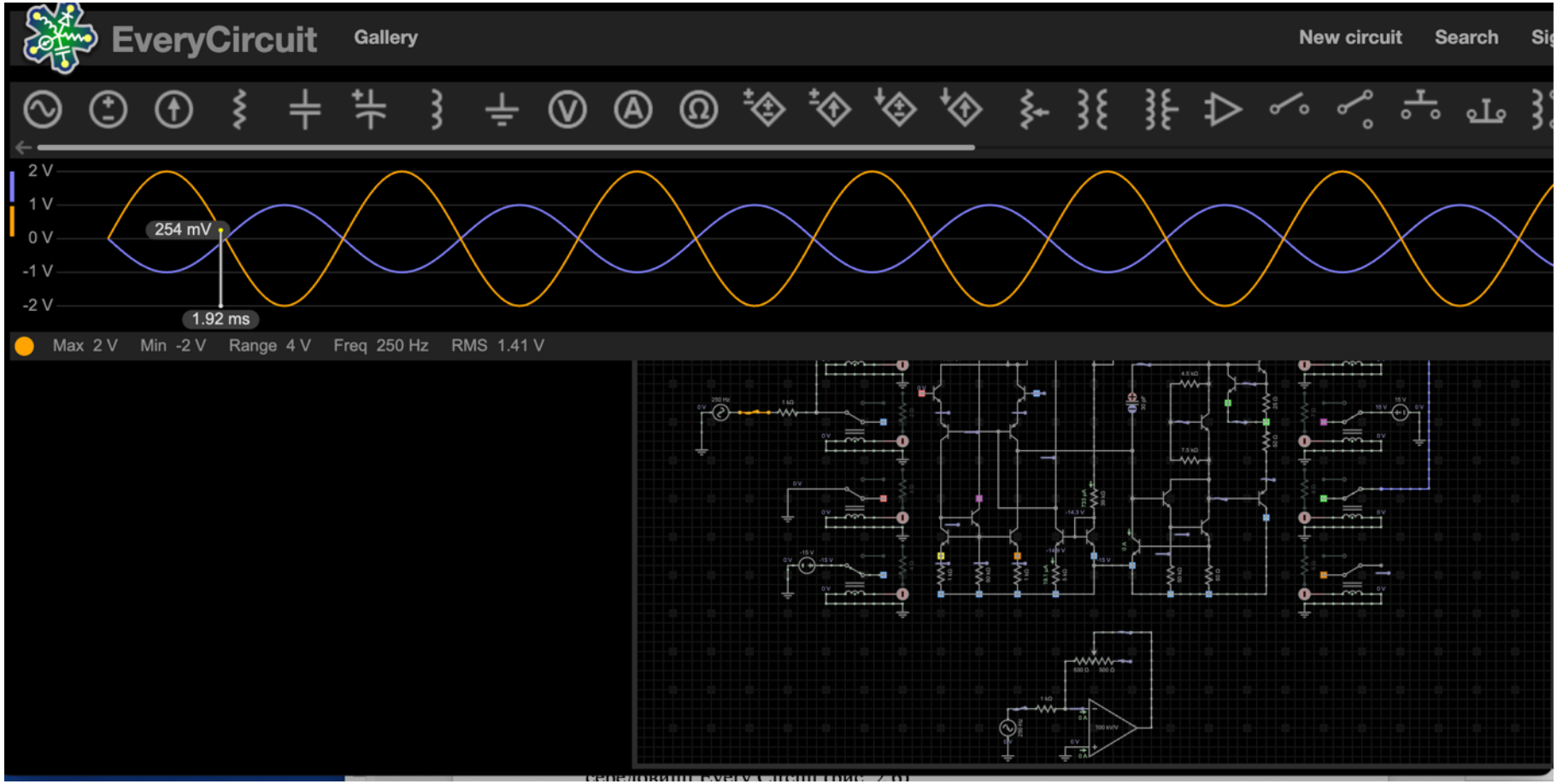


Рисунок 2.7 – Результати моделювання роботи LM741 в програмному середовищі Every Circuit

Розрахуємо поріг спрацювання компаратору:

Вихідні дані:

- $U_{жив} = 12$ В;
- $R_2 = 2{,}2$ кОм;
- $VR_1 = 22$ кОм;
- $R_3 = 470$ Ом;
- $R_4 = 1$ кОм;
- $R_6 = 4{,}7$ кОм;
- $U_{бе} \approx 0{,}7$ В.

Поріг спрацювання визначається умовою рівності напруг на входах операційного підсилювача:

$$U+ = U-.$$

На неінвертуючому вході U+ формується подільником напруги R_2–VR_1–R_3. Сумарний опір цього кола дорівнює:

$$R_\Sigma = R_2 + VR_1 + R_3 = 2200 + 22000 + 470 = 24670 \text{ Ом}.$$

Струм через подільник:

$$I = 12 / 24670 \approx 0{,}000486 \text{ А} = 0{,}486 \text{ мА}.$$

Мінімальна опорна напруга:

$$U_{+min} = I \cdot R3 = 0{,}000486 \cdot 470 \approx 0{,}229 \text{ В}.$$

Максимальна опорна напруга:

$$U_{+max} = I \cdot (R3 + VR1) = 0{,}000486 \cdot (470 + 22000) \approx 10{,}93 \text{ В}.$$

Отже, U+ може змінюватися від 0,23 В до 10,93 В.

На інвертуючому вході напруга формується подільником R_4–LDR_1:

$$U- = 12 \cdot RLDR / (1000 + RLDR).$$

У момент спрацювання U+ = U−, тому пороговий опір фоторезистора дорівнює:

$$RLDR,_{пор} = 1000 \cdot U+ / (12 - U+).$$

При U+ = 6 В:

$$RLDR,_{пор} = 1000 \cdot 6 / (12 - 6) = 1000 \text{ Ом} = 1 \text{ кОм}.$$

Отже, при опорній напрузі 6 В схема спрацьовує при опорі фоторезистора приблизно 1 кОм.

Для керування реле використано біполярний транзистор 2N2222, який виконує функцію електронного ключа. Його застосування є необхідним, оскільки вихід мікросхеми компаратора не забезпечує достатнього струму для безпосереднього живлення котушки реле. Транзистор 2N2222 характеризується достатньою комутаційною здатністю, простотою використання, високою надійністю та широким поширенням. Це робить його доцільним вибором для побудови проміжного підсилювального каскаду [13].

Базовий струм транзистора 2N2222 визначається резистором $R_б$ і обчислюється за формулою:

$$I_б = (U_{вих} - U_{бе}) / R_б.$$

Для розрахунку приймаємо $U_{вих} \approx 12$ В, $U_{бе} \approx 0{,}7$ В, $R_б = 4{,}7$ кОм = 4700 Ом.

$$I_б = (12 - 0{,}7) / 4700 = 11{,}3 / 4700 \approx 0{,}0024 \text{ А}.$$

У реальному режимі через особливості LM741 значення може бути трохи меншим, близько 2,1–2,4 мА, але цього достатньо для керування транзистором і реле.

Після формування сигналу компаратором необхідно передати його на виконавчий елемент, який безпосередньо вмикатиме освітлювальне навантаження. Для цього можуть використовуватися транзистори, електромагнітні реле, тиристори, симістори або твердотільні реле.

Якщо керованим навантаженням є низьковольтні світлодіодні системи, часто достатньо транзисторного ключа. Для мережевих світильників змінного струму зручно застосовувати реле, яке забезпечує гальванічну розв’язку між низьковольтною схемою керування та силовою мережею. Разом з тим реле має обмежений ресурс через механічний знос контактів.

Симісторні та твердотільні ключі не мають механічних контактів і забезпечують довший ресурс, але потребують уважного підбору та захисних

елементів. У будь-якому випадку виконавчий каскад повинен бути розрахований на характер навантаження, пускові струми, умови експлуатації та вимоги електробезпеки.

Для надійної роботи виконавчого елемента часто передбачають допоміжні захисні компоненти. Для реле це може бути діод, підключений паралельно котушці, а для силових напівпровідникових ключів — RC-ланцюги, варистори, запобіжники або інші пристрої, що зменшують вплив перехідних процесів.

Як виконавчий комутаційний елемент у схемі використано реле RL1 з напругою котушки 12 В. Його застосування обґрунтоване необхідністю комутації мережевого навантаження змінного струму 230 В при збереженні електричної розв’язки між низьковольтною частиною керування та силовим колом вуличного світильника. Використання реле забезпечує просте та надійне керування мережевим навантаженням, що є особливо важливим для систем освітлення.

Для захисту транзистора від перенапруги, що виникає при вимиканні котушки реле, застосовано діод D1 типу 1N4007. Під час вимикання реле у його котушці виникає електрорушійна сила самоіндукції, яка може призвести до пошкодження транзистора. Паралельне підключення захисного діода дозволяє ефективно погасити цей імпульс. Основні параметри діода 1N4007: допустимий прямий струм - до 1 А; допустима зворотна напруга - до 1000 В.

Оскільки струм котушки реле значно менший за 1 А, діод 1N4007 повністю підходить для цієї задачі.

Конденсатор C2 у схемі використовується для додаткової фільтрації та пригнічення можливих перешкод у керуючому каскаді. Його застосування сприяє стабілізації роботи схеми, покращує завадостійкість та зменшує ймовірність нестійких режимів або хибних спрацювань при зміні зовнішніх умов.

Для індикації роботи пристрою застосовано світлодіоди LED1 та LED2. Перший світлодіод використовується для контролю наявності живлення, а

другий може відображати стан спрацювання або активність керуючого вузла. Використання світлодіодної індикації є доцільним, оскільки це полегшує перевірку працездатності пристрою, спрощує його налагодження та підвищує зручність експлуатації.

Резистор R1 обмежує струм через індикаторний світлодіод LED1.

$R = (U - U_{LED}) / I_{LED.}$

де U = 19,75 В - напруга після випрямляча; $U_{LED} \approx 2$ В - падіння напруги на світлодіоді; $I_{LED} \approx 10$ мА = 0,01 А.

Тоді: R1 = (19,75 - 2) / 0,01 = 1775 Ом.

Найближче стандартне значення: R1 ≈ 1,8 кОм.

У схемі використано 1 кОм, тому струм через світлодіод буде більшим: I_{LED} = (19,75 - 2) / 1000 = 17,75 мА.

Потужність, що розсіюється на резисторі R6, визначається за формулою:

$$P = I^2R.$$

$$P = (0{,}00342)^2 \cdot 3300 \approx 0{,}039 \text{ Вт.}$$

Отже, достатньо резистора потужністю 0,125 Вт. Стандартний резистор на 0,25 Вт має цілком достатній запас.

Розрахунок струму через світлодіод LED_2

Для світлодіода LED_2 з резистором R3 = 470 Ом, якщо живлення надходить від 12 В, струм становитиме:

$$ILED_2 = (12 - 2) / 470 = 10 / 470 \approx 0{,}021 \text{ А} = 21 \text{ мА.}$$

Такий струм є близьким до номінального для звичайного індикаторного світлодіода.

2.4 Розробка схеми електричної принципової

На основі розрахунків та обраної елементної бази побудована схема електрична принципова пристрою автоматичного вмикання та вимикання вуличного світильника залежно від рівня освітленості навколишнього середовища (рис. 2.7).

Живлення схеми здійснюється від мережі змінного струму 230 В. Напруга мережі подається на понижувальний трансформатор X1, який знижує її до безпечного рівня. Далі змінна напруга випрямляється діодним мостом BR1**.** Конденсатор C1 згладжує пульсації випрямленої напруги, утворюючи постійну напругу живлення. Світлодіод LED1 разом із резистором R1 служить індикатором наявності живлення.

Для отримання стабільної напруги живлення використовується інтегральний стабілізатор IC1 LM7812**,** який формує стабільні 12 В для роботи всієї керуючої частини схеми.

Основним чутливим елементом є LDR1 — фоторезистор, опір якого змінюється залежно від освітленості. Разом із резисторами R3 та змінним резистором VR1 він формує подільник напруги, що створює сигнал, пропорційний рівню освітлення. Змінний резистор VR1 використовується для налаштування порога спрацювання схеми.

Порівняння сигналів здійснює операційний підсилювач IC2 LM741, який у цій схемі працює в режимі компаратора**.** На один його вхід подається опорна напруга, а на інший — сигнал із подільника, сформований фоторезистором. Залежно від співвідношення цих напруг на виході компаратора формується сигнал керування.

Вихідний сигнал компаратора через резистор R6 подається на базу транзистора T1 2N2222, який виконує функцію електронного ключа. Коли транзистор відкривається, через обмотку реле RL1 починає протікати струм, і реле спрацьовує.

Реле RL1 комутує мережеве коло живлення вуличного світильника, який підключений до роз’єму CON2**.** Діод D1 (1N4007) підключений паралельно обмотці реле і захищає транзистор від імпульсів самоіндукції під час вимикання реле. Конденсатор C2 забезпечує додаткову фільтрацію та підвищує стійкість роботи керуючої частини. Світлодіод LED2 виконує допоміжну індикацію роботи вузла освітленості.

Після підключення пристрою до мережі 230 В змінна напруга через трансформатор знижується, випрямляється діодним мостом і згладжується конденсатором. Стабілізатор LM7812 формує постійну стабільну напругу 12 В, необхідну для живлення компаратора, транзистора та реле.

Фоторезистор LDR1 постійно реагує на зміну рівня освітленості. При достатньому освітленні його опір зменшується, у результаті чого напруга на відповідному вході компаратора змінюється так, що на виході IC2 формується низький рівень. У цьому випадку транзистор T1 залишається закритим, реле RL1 не спрацьовує, і вуличний світильник вимкнений.

При зменшенні освітленості опір фоторезистора зростає. Це змінює напругу на вході компаратора. Коли ця напруга досягає встановленого порога, визначеного регулятором VR1**,** компаратор перемикає свій вихідний стан. На базу транзистора T1 надходить струм, транзистор відкривається, спрацьовує реле RL1**,** і його контакти замикають коло живлення вуличного світильника. Лампа вмикається. Коли рівень зовнішнього освітлення знову підвищується, опір фоторезистора зменшується, компаратор повертається у вихідний стан, транзистор закривається, реле відпускає контакти, і світильник вимикається.

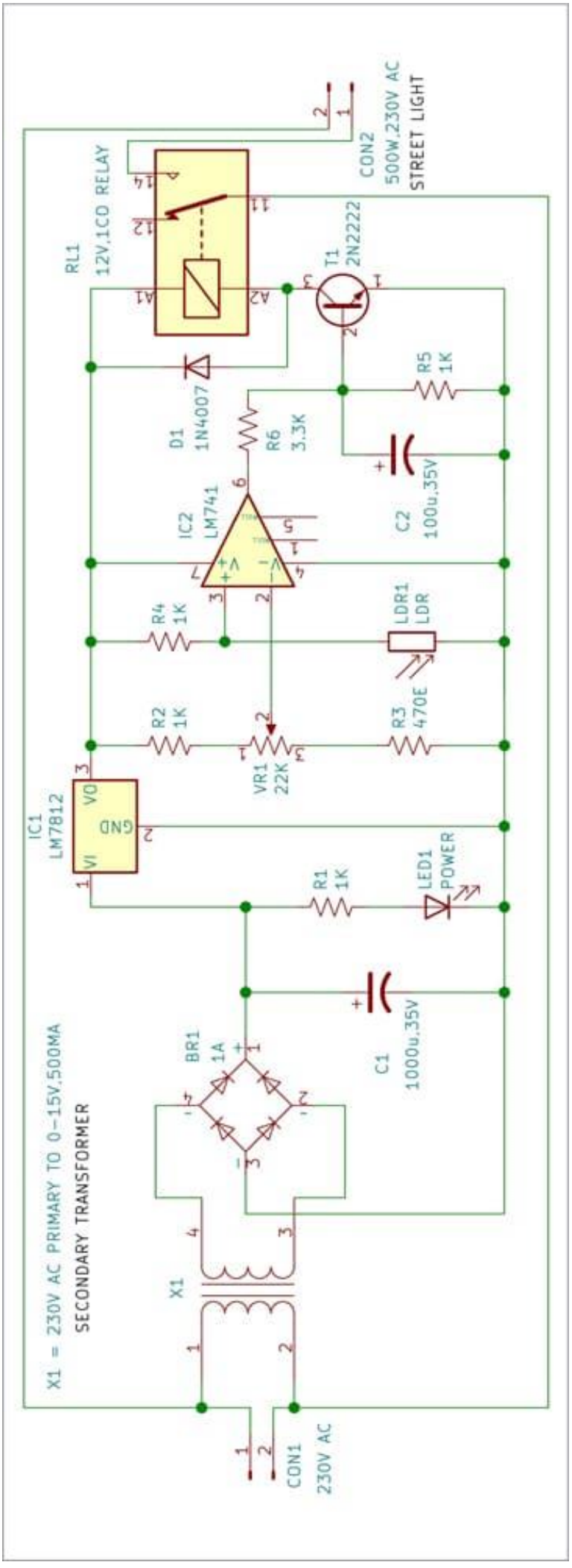


Рисунок 2.7 -Схема електрична принципова вуличного ліхтаря

2.5 Розробка топології друкованої плати та схеми розміщення елементів

Побудова топології друкованої плати— це комплексний процес, що базується на поєднанні конструкторських, технологічних та електричних вимог.

1. Загальні конструкторські вимоги

- Форм-фактор: Визначається технічним завданням та особливостями корпусу пристрою. Основа зазвичай прямокутна, але може бути будь-якої форми.
- Технологічні відступи: Відстань від краю плати до найближчої струмопровідної доріжки має бути не менше 0,5 мм.
- Кріплення та монтаж: Необхідно передбачити зони для кріпильних отворів, де не повинні проходити провідники. [14]

2. Електричні вимоги та цілісність сигналів

- Розподіл сигналів: Рекомендується розділяти цифрові, аналогові та силові частини схеми для мінімізації завад.
- Мінімізація перехресних завад: Використання "правила 3W" (відстань між центрами доріжок має бути втричі більшою за їхню ширину) та уникнення паралельного прокладання довгих ліній на сусідніх шарах.
- Живлення та заземлення: Використання суцільних полігонів для шин живлення та землі для зменшення індуктивності та забезпечення стабільного зворотного шляху струму. [12]

3.Технологічні обмеження

- Класи точності: Визначають мінімальну ширину провідника та мінімальний зазор між ними (наприклад, 0.1 мм для високих класів).

- Типи перехідних отворів: Вибір між наскрізними, сліпими або прихованими отворами залежить від щільності монтажу та вартості виробництва.
- Контактні площадки: Їхній розмір повинен відповідати допускам на свердління та пайку, щоб уникнути дефектів під час монтажу компонентів. [12]

4. Маркування та фінішне покриття

- Шовкографія: Нанесення позначень компонентів, логотипів та інструкцій для спрощення збирання та ремонту.
- Захисна маска: Вимоги до нанесення діелектричного шару для захисту міді від окислення та запобігання замиканням під час пайки. [12]

На основі схеми електричної принципової (рис.2.7) побудовано топологію друкованої плати (рис. 2.8) пристрою для автоматичного вмикання вуличного освітлення та схему розміщення елементів. (рис.2.9).

Пристрій автоматичного увімкнення вуличного освітлення, побудований на основі операційного підсилювача-компаратора, відзначається простотою структурної схеми, доступністю елементної бази, зручністю налагодження та невисокою вартістю. Він не потребує програмування і може бути реалізований на невеликій кількості стандартних компонентів.

Суттєвою перевагою є можливість гнучкого налаштування порога спрацювання залежно від конкретних умов експлуатації. Це дозволяє використовувати подібні схеми як у міських мережах, так і для локального освітлення прибудинкових територій, складів, виробничих майданчиків або приватних об’єктів.

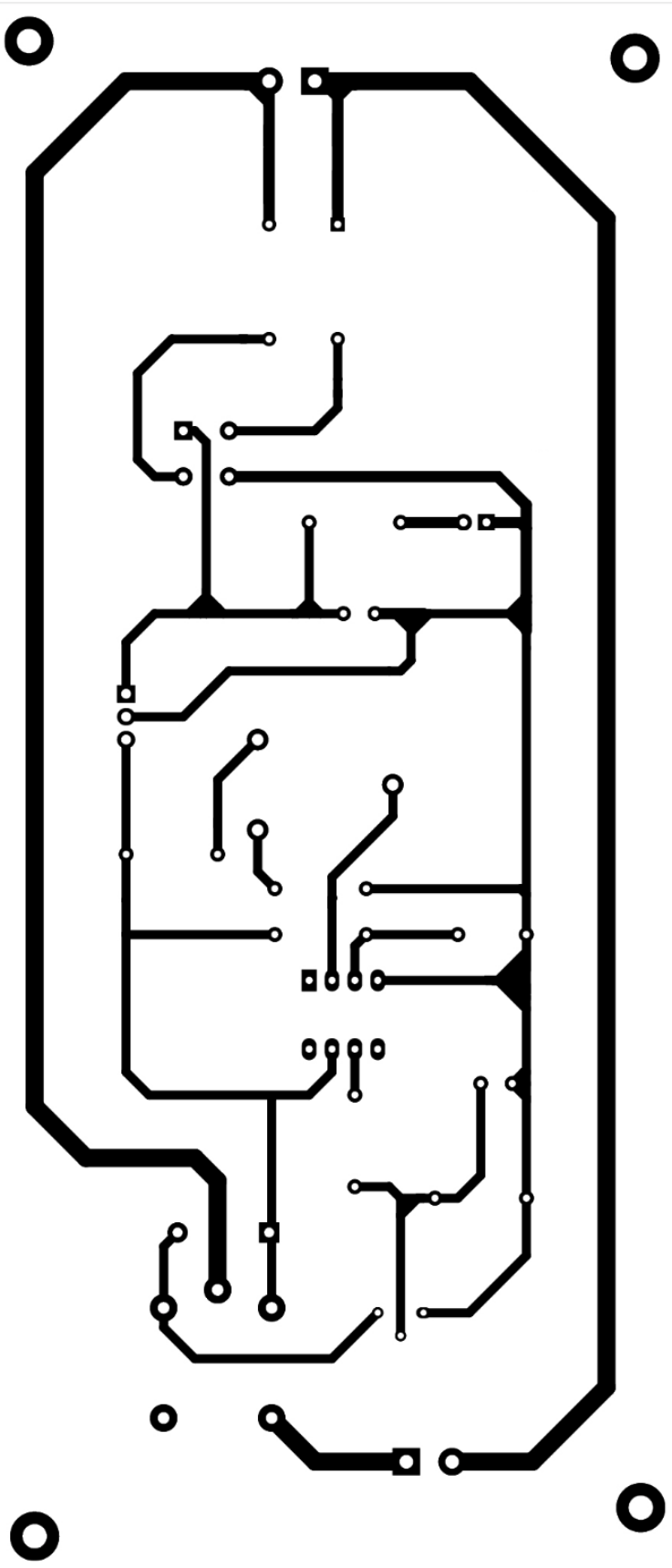


Рисунок 2.8- Топологія друкованої плати пристрою вмикання вуличного освітлення

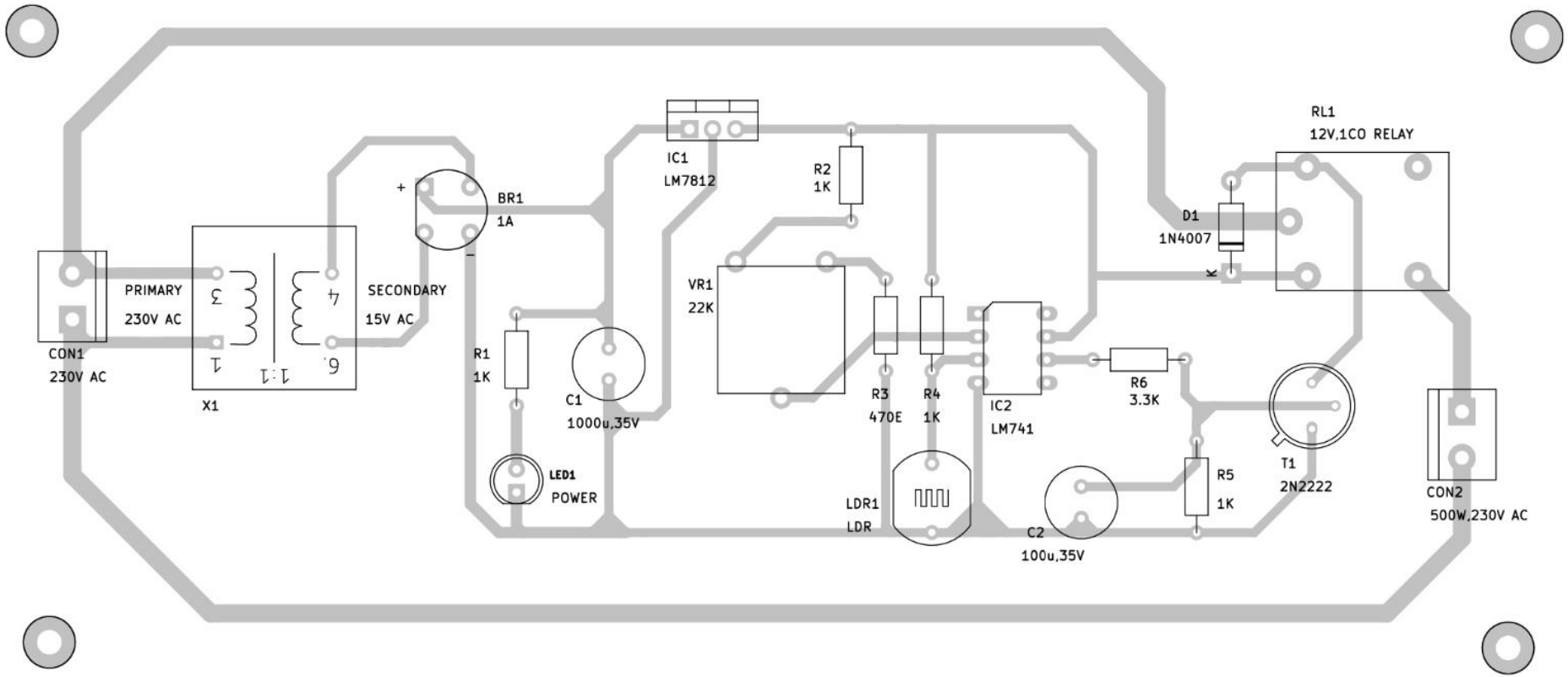


Рисунок 2.9- Схема розміщення елементів пристрою вмикання вуличного освітлення

3 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ТЕХНОГЕННА БЕЗПЕКА

3.1 Характеристика потенційно небезпечних виробничих факторів

При виготовленні пристрою керування вуличним ліхтарем можуть виникнути наступні, потенційно небезпечні та шкідливі виробничі фактори:

- пожежна безпека;
- освітленість робочого місця;
- травмування під час пайки.

Пожежна безпека –у випадку виникнення пожежі на виробництві зменшується продуктивність або повністю припиняється робота підприємства, можливі втрати робочого устаткування, завдання шкоди навколишньому середовищу або здоров’ю працівників.

Освітлення – недостатнє освітлення викликає зменшення продуктивності праці, підсилює стомлюваність, збільшує кількість помилкових дій, що можуть привести до браку або нещасному випадку, також може розвитися короткозорість.[15]

Виділення шкідливих речовин – під час пайки олов'яно-свинцевими припоями виникає небезпека забруднення свинцем шкіри рук і одягу працівника. Концентрація свинцю в повітрі на робочих місцях, зайнятих паянням, може досягати 0,1 мг/м^3. Тому в цехах з великим обсягом пайки необхідно проводити профілактичні заходи. Для ділянок пайки і монтажу, що супроводжується пайкою, слід відводити окремі приміщення. Робочі поверхні обладнання необхідно покривати матеріалами, що легко чистити, стаціонарні місця пайки обладнати місцевими витяжними пристроями, що забезпечують швидкість витяжки повітря безпосередньо на місці пайки не

менше 0,6 м/сек. Приміщення, в яких проводиться паяння, повинні забезпечуватися припливним повітрям, що подається в верхню зону, в кількості приблизно 90% обсягу повітря, що видаляється.

Для попередження вибухів при виконанні паяльних робіт забороняється виробляти пайку посудин, що знаходяться під тиском, а також ємностей з-під легкозаймистих матеріалів без попередньої обробки. [16]

3.2 Заходи пожежної безпеки

Протипожежний захист підприємства може включати наступну систему заходів, направлених на попередження виникнення пожеж:

- розроблення комплексних заходів забезпечення пожежної безпеки підприємства;
- організація і проведення протипожежних інструктажів, проведення спеціального навчання з посадовими особами та працівниками підприємства. Допуск до роботи осіб, які не пройшли навчання, протипожежного інструктажу і перевірки знань з питань пожежної безпеки, забороняється;
- встановлення можливості паління, застосування відкритого вогню, побутових нагрівальних приладів;
- проведення вогнезахисної обробки дерев’яних конструкцій будівель на об’єктах підприємства згідно з вимогами та рекомендаціями;
- розміщення на території і об’єктах підприємства відповідних знаків безпеки;
- створення та організація роботи пожежно-технічної комісії підприємства;
- інструктаж керівниками робіт, про заходи пожежної безпеки перед початком робіт на об’єктах підприємства;

- забезпечення засобами пожежогасіння території та об’єктів підприємства;
- обладнання автоматичними установками пожежогасіння та пожежної сигналізації об’єктів підприємства;
- створення нормативного запасу води для зовнішнього пожежогасіння.[17]

3.3 Заходи освітленості робочого місця

Освітлення виробничих приміщень характеризується кількісними та якісними показниками. До основних кількісних показників відносяться: світловий потік, сила світла, яскравість і освітленість. До основних якісних показників зорових умов роботи можна віднести: фон, контраст між об'єктом і фоном, видимість.

Для створення сприятливих умов зорової роботи, які б виключали швидку втомлюваність очей, виникнення професійних захворювань – і сприяли підвищенню продуктивності праці та якості продукції, виробниче освітлення повинно відповідати наступним вимогам:

- створювати на робочій поверхні освітленість, що відповідає характеру зорової роботи і не є нижчою за встановлені норми;
- не повинно бути завеликої кількості світла, як від самих джерел освітлення, так і від інших предметів, що знаходяться в полі зору;
- забезпечити достатню рівномірність та постійність рівня освітленості у виробничих приміщеннях, щоб уникнути частої адаптації органів зору;
- не створювати на робочій поверхні різких та глибоких тіней (особливо рухомих);
- повинен бути достатній, для розрізнення деталей, контраст поверхонь, що освітлюються;

- не створювати небезпечних та шкідливих виробничих факторів (шум, теплові випромінювання, небезпечне ураження струмом, пожежо- та вибухонебезпека світильників);

Залежно від джерела світла виробниче освітлення може бути природним, штучним і суміщеним, при якому недостатнє за нормами природне освітлення доповнюється штучним.[17]

Природне освітлення має важливе фізіолого-гігієнічне значення для працівника. Воно сприятливо впливає на органи зору, стимулює фізіологічні процеси, підвищує обмін речовин та покращує розвиток організму в цілому. Окрім того, природне світло має і психологічну дію, створюючи в приміщенні для працівників відчуття безпосереднього зв'язку з довкіллям.

Природному освітленню властиві і недоліки:

- воно непостійне в різні періоди доби та року, в різну погоду;
- нерівномірно розподіляється по площі виробничого приміщення;
- при незадовільній його організації може викликати засліплення органів зору.

На рівень освітленості приміщення при природному освітленні впливають наступні чинники: світловий клімат, площа та орієнтація світлових отворів, ступінь чистоти скла в світлових отворах, пофарбування стін та стелі приміщення, глибина приміщення, наявність предметів що перешкоджають проходженню світла через вікно.[17]

Штучне освітлення передбачається у всіх виробничих та побутових приміщеннях, де недостатньо природного світла, а також для освітлення приміщень в темний період доби. При організації штучного освітлення необхідно забезпечити сприятливі гігієнічні умови для зорової роботи і одночасно враховувати економічні показники. [18]

3.4 Загальні вимоги охорони праці при пайці

Перед початком роботи необхідно:

- оглянути робоче місце, привести його в порядок, звільнити проходи і не захаращувати їх;
- оглянути, привести в порядок і надіти засоби індивідуального захисту;
- при використанні паяльника перевірити:
  - його на відповідність класу захисту від ураження електричним струмом;
  - зовнішнім оглядом технічний стан кабелю та штепсельної вилки, цілісність захисного кожуха та ізоляції рукоятки;
  - на працездатність вбудованих в його конструкцію відсмоктувачів;
  - на працездатність механізовану подачу припою у випадках її встановлення в паяльнику.
- включити і перевірити роботу вентиляції;
- перевірити наявність та справність:
  - огорож та запобіжних пристроїв;
  - струмоведучих частин електричної апаратури (пускачів, трансформаторів, кнопок і інших частин);
  - заземлюючих пристроїв;
  - засобів пожежогасіння.
- перевірити освітленість робочого місця. Напруга для місцевого освітлення не повинна перевищувати 50 В.

По закінченні роботи необхідно:

- відключити від електромережі паяльник, освітлення;
- вимкнути місцеву витяжну вентиляцію;
- невитрачені флюси прибрати в витяжні шафи або в спеціально призначені для зберігання комори;

- привести в порядок робоче місце, скласти інструменти і пристрої в інструментальний ящик;
- зняти спецодяг та інші засоби індивідуального захисту і повісити їх у спеціально призначене місце;
- вимити руки і обличчя теплою водою з милом.[19]

3.5 Техногенна безпека

Приміщення, де проводиться травлення друкованих плат, відносять до вибухонебезпечних, тому що водень, що виділяється при травленні утворює вибухонебезпечну суміш із атмосферним киснем. Однак це може відбутися лише при відключенні вентиляції, тобто при аваріях. По ступеню пожежної небезпеки дане виробництво може бути віднесене до категорії Д, тому що характеризується наявністю тільки неспаленних речовин і матеріалів у холодному стані.

Причинами пожежі в цеху можуть стати:

- коротке замикання в ланцюгах харчування електроустаткування;
- значні перевантаження проводки;
- погані контакти в місцях з'єднання провідників, що приводять до збільшення перехідного опору, на якому виділяється велика кількість тепла;
- недбале поводження з вогнем;
- удари блискавки та інше.

Так як на виробничій ділянці є велика кількість електроустаткування, а також кислота, використання води для гасіння пожежі є небезпечним. Тому передбачається використовувати установку газового об'ємного пожежогасіння, У якості речовини для гасіння використовується

комбінований вуглекислотно-хладоновий склад (85% двуокис вуглецю, 15% хладону 111В2).[20]

Розрахуємо необхідну масу речовини для гасіння. Виробнича ділянка – приміщення розміром 5 на 10 метрів, висота стель – 3м.

Необхідна маса комбінованого вуглекислотно-хладонового складу md, для об'ємного пожежогасіння визначається по формулі:

$$md=k_6 \cdot q \cdot n \cdot v, \quad (3.1)$$

де:k_6 – коефіцієнт компенсації невраховуваних втрат вуглекислотно-хладонового складу, прирівнюється до 1.2;

$q \cdot n$ – нормативна масова концентрація речовини вуглекислотно-хладонового складу, що дорівнює 0.27 кг/м^3 при часі заповнення приміщення, рівним 30 сек;

V – обсяг приміщення, що захищається, м^3.

$$m_d=1.2 \cdot 0.27 \cdot 10 \cdot 5 \cdot 3=48.6 \text{ кг} \quad (3.2)$$

Кількість ξ_1 балонів визначається з розрахунку місткості в 40-літровий балон 25 кг вуглекислотно-хладонового складу.

$$\xi_1= m_d/25=48.6/25=2 \text{ повних балона} \quad (3.3)$$

Внутрішній діаметр магістрального трубопроводу d_i, визначається по формулі

$$d_i=d_1 \sqrt{\xi_{2,}} \quad (3.4)$$

де: d_1 – діаметр сифонної трубки балона (30 мм);

ξ_2 – число одночасних балонів, що розряджаються.

$$d_i=30\cdot\sqrt{2}=42.4=43 \text{ мм} \quad (3.5)$$

Еквівалентна довжина магістрального трубопроводу l_2, визначається по формулі:

$$l_2=k_7\cdot l, \quad (3.6)$$

де:k_7 – коефіцієнт збільшення довжини трубопроводу для компенсації невраховуваних місцевих втрат (ухвалюється рівним 1.1):

l – довжина трубопроводу по проекту, м (ухвалюється рівної 30 м).

$$l_2=1.1\cdot 30=33 \text{ м} \quad (3.7)$$

Площа перетину вихідного отвору зрошувача $A_з$, визначається по формулі

$$A_з=S/\xi_1, \quad (3.8)$$

де: S – площа перетину магістрального трубопроводу, мм^2;

ξ_1 – число зрошувачів (що дорівнюється8).

$$A_з=3.1415\cdot 2\cdot 33/8=26 \text{ мм}^2 \quad (3.9)$$

Витрата вуглекислотно-хладонового складу Q, залежно від еквівалентної довжини й діаметра трубопроводу.

$$Q=5,6 \text{ кг/з} \quad (3.10)$$

Розрахунковий час подачі вуглекислотно-хладонового складу t, визначається по формулі:

$$t=m_d/60\cdot Q, \quad (3.11)$$

де: m_d – розрахункова маса вуглекислотно-хладонового складу, кг;

Q – витрата вуглекислотно-хладонового складу, кг/с.

$$t=48,6/5,6=8,7 \text{ хв} \quad (3.12)$$

Маса основного запасу вуглекислотно-хладонового складу m, визначається по формулі:

$$m = 1,1md(1+k_8/k_6), \quad (3.13)$$

де: k_8 – коефіцієнт, що враховує залишок вуглекислотно-хладонового складу в балонах і трубопроводах, дорівнює 0.2;

$$m = 1,1\cdot 48,6\cdot (1+0.2/1.2)=62,4 \text{ кг} \quad (3.14)$$

Насадки розташовані на стелі у два ряди по чотири штуки в ряді на відстані 1,5м від стін і 2м одна від іншої. Вони з'єднані послідовно магістральною трубою діаметром 33мм, балони з газом розташовані в сусідньому приміщенні.[21]

ВИСНОВКИ ТА РЕКОМЕНДАЦІЇ

Проведений літературний аналіз показав, що автоматичне увімкнення вуличного освітлення є актуальним напрямом розробки електронних пристроїв автоматики. Його значення визначається потребою в економії електроенергії, підвищенні безпеки та зменшенні впливу людського фактору на процес керування освітленням. В умовах України, де можливі аварійні та планові відключення електроенергії, значення автоматизованого керування вуличним освітленням істотно зростає.

Розроблено пристрій автоматичного увімкнення вуличного освітлення на основі фоторезистора та операційного підсилювача, що виконує функцію компаратора. Пристрій має світлову індикацію та можливість адаптації до різних умов експлуатації, зокрема до сезонних змін тривалості світлового дня, особливостей місця встановлення та рівня стороннього освітлення. Розраховані габаритні розміри складають 80 × 60 мм.

Запропонований пристрій може входити до системи зовнішнього освітлення, що поєднує економічність, практичність і можливість подальшого вдосконалення.

ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАННОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. ДСТУ EN 13201-2:2016. Освітлення доріг. Частина 2. Вимоги до освітлення. Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2016.
2. ДСТУ EN 13201-3:2016. Освітлення доріг. Частина 3. Розрахунок показників якості освітлення. Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2016.
3. ДСТУ EN 13201-4:2016. Освітлення доріг. Частина 4. Методи вимірювання показників освітлення. Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2016.
4. Horowitz P., Hill W. The Art of Electronics. 3rd ed. Cambridge: Cambridge University Press, 2015. 1220 p.
5. Sedra A. S., Smith K. C. Microelectronic Circuits. 7th ed. New York : Oxford University Press, 2015. 1427 p.
6. Boylestad R. L., Nashelsky L. Electronic Devices and Circuit Theory. 11th ed. Boston: Pearson, 2013. 944 p.
7. Franco S. Design with Operational Amplifiers and Analog Integrated Circuits. 4th ed. New York: McGraw-Hill, 2015. 672 p.
8. Texas Instruments. Comparator application information. URL: https://www.ti.com/amplifier-circuit/comparators/overview.html (date of access: 30.03.2026).
9. Analog Devices. Operational amplifiers and comparators technical resources URL: https://www.analog.com/en/product-category/amplifiers.html (date of access: 31.03.2026).
10. CIE 115:2010. Lighting of Roads for Motor and Pedestrian Traffic. Vienna: Commission Internationale de l'Éclairage, 2010.
11. Бондаренко І. М., Бородін О. В., Галат О. Б., Карнаушенко В. П. Твердотільна електроніка, навч. посіб. Харків: ХНУРЕ, 2020. 236 с.
12. Кравченко В.О., Лисенко В.В. Електроніка та мікросхемотехніка: методичні вказівки до самостійної роботи. Суми, 2024. 84 с.

13. Електронні пристрої та технології для промисловості, енергозбереження та екологічних напрямів: монографія/ під заг. ред. д.т.н., проф. Критської Т.В. Одеса: Олді +. 2023. 154 с.
14. Дружинін А.О. Твердотільна електроніка. Фізичні основи і властивості напівпровідникових приладів: навч. посібник / А.О. Дружинін. Львів: Видавництво Національного університету «Львівська політехніка», 2019. 332 с.
15. Виготовлення друкованих плат для електроніки. URL: https://renome.biz/uk/index.php?route=news/article&news_id=61 (дата звернення квітень 2026 р.).
16. Виробнича санітарія та гігієна. URL: https://pidru4niki.com/15060913/bzhd/virobnicha_sanitariya_gigiyena (дата звернення: квітень 2026 р.).
17. Про затвердження правил пожежної безпеки в Україні. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0252-15/ed20230407#Text (дата звернення: травень 2026 р.).
18. ДБН В 1.1-7:2016 Пожежна безпека. Загальні вимоги [Чинний від 01.06.2017] Вид. офіц. Київ: Міністерство регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства України, 2017, 38 с.
19. Основи охорони праці: навч. посіб. / Р.М. Івах та ін. 4-те вид. Київ: Кондор, 2010. 464 с.
20. Правила улаштування електроустановок: затв. Наказом Міністерства енергетики та вугільної промисловості України від 20 червня 2014 р. №469. 793 с.
21. Жидецький В. Ц., Джигирей В. С., Сторожук В. М., Туряб Л. В., Лико Х. І. Практикум із охорони праці: Навчальний посібник. Львів: Афіша, 2000. 345 с.