

Вінницький національний технічний університет
Факультет комп'ютерних систем і автоматики
Кафедра лазерної та оптикоелектронної техніки

**Пояснювальна записка
до магістерської кваліфікаційної роботи**

магістр

(освітньо-кваліфікаційний рівень)

на тему Засіб для створення світлового дизайну

08-04. МКР.010.00.000 ПЗ

Виконав: студент 2 курсу, групи ЛТО-18м
спеціальності

152 Метрологія та інформаційно-

(шифр і назва напрямку підготовки, спеціальності)

вимірювальна техніка, освітня програма

«Лазерна техніка та оптоінформатика»

Гуцало В.О.

(прізвище та ініціали)

Керівник: к.т.н., доц. каф.

Тарновський М.Г.

(прізвище та ініціали)

Рецензент: д.т.н., проф. каф. МПА

Кулаков П. І.

(прізвище та ініціали)

Вінницький національний технічний університет
Факультет комп'ютерних систем і автоматики
Кафедра лазерної та оптикоелектронної техніки

Освітньо-кваліфікаційний рівень _____ магістр _____
Спеціальність 152 Метрологія та інформаційно-вимірювальна техніка
Освітня програма Лазерна техніка та оптоінформатика

ЗАТВЕРДЖУЮ

Зав. кафедри _____ ЛОТ _____
_____ д.т.н., проф. Заболотна Н.І. _____

“ ___ ” _____ 20__ р.

ЗАВДАННЯ
НА МАГІСТЕРСЬКУ КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ

_____ Гуцалу В.О.

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи: Засіб для створення світлового дизайну
керівник роботи _____ к.т.н., доц. каф. ЛОТ Тарновський М.Г. _____,
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)
затверджені наказом ВНТУ від «___» _____ 2019 року №___.

2. Строк подання студентом роботи: _____

3. Вихідні дані до роботи: призначення – керування світлодіодними джерелами світла; кількість вихідних каналів керування – не менше 6; кількість відтворюваних світлових ефектів – не менше 10; максимально допустимий вихідний струм – не менше 500 мА; підтримка функції керування яскравістю, підтримка функції редагування ефектів; живлення засобу – від зовнішнього джерела постійної напруги..

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити): техніко-економічне обґрунтування доцільності розробки; аналіз методів керування яскравістю; визначення підходів до їх покращення; визначення структурної побудови засобу для створення світлового дизайну; визначення принципів його функціональної реалізації; розробка схеми електричної принципової, розробка алгоритму роботи; економічний розділ.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень):
структурна схема; схема електрична функціональна; схема електрична
принципова; схем підключення; схема програми.

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		Завдання Видав	завдання прийняв
Спеціальна частина	Тарновський М.Г., доцент кафедри ЛОТ		
Економічна частина	Ратушняк О.Г., доцент кафедри ЕПВМ		

7. Дата видачі завдання « ___ » _____ 2019 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів бакалаврської кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів	Примітка
1	Розробка та затвердження ТЗ		
2	Виконання спеціальної частини МКР. Перший рубіжний контроль виконання		
3	Виконання спеціальної частини МКР. Другий рубіжний контроль виконання		
4	Виконання «Економічної частини» і «Частини охорони праці та цивільної оборони»		
5	Попередній захист МКР		
6	Нормоконтроль МКР		
7	Рецензування МКР		
8	Захист МКР		

Студент _____
(підпис)

Гуцало В. О.

Керівник роботи _____
(підпис)

Тарновський М.Г.

АНОТАЦІЯ

Магістерська кваліфікаційна робота присвячена визначенню функціональної побудови засобу для створення світлового дизайну з використання світлодіодних джерел світла та можливістю керування їх світінням відповідно заданим сценаріям. В роботі на основі аналізу літературних джерел проведено технічне обґрунтування доцільності розробки, сформульовані основні вимоги, які необхідно задовольнити для отримання конкурентно спроможного засобу, визначені основні шляхи їх досягнення.

В роботі проаналізовано метод широтно-імпульсної модуляції яскравості, визначено структурну побудову засобу для створення світлового дизайну, запропоновано його реалізацію на рівні функціональної та електричної принципової схем, розроблено алгоритм роботи, виконані економічні розрахунки щодо прогнозування комерційних ефектів від реалізації результатів розробки та оцінювання ефективності вкладених інвестицій.

ABSTRACT

The master's qualification work is devoted to determining the functional construction of a means for creating a light design using LED light sources and the ability to control their luminescence in accordance with given scenarios. In the work on the basis of the analysis of literary sources the technical substantiation of expediency of development is made, the basic requirements which are necessary to be satisfied for reception of the competitive device are formulated, the basic ways of their achievement are defined.

In the master's work the method of pulse-width modulation of luminance analyzes, the structural construction of a means for creating light design determines, proposes its implementation at the level of functional and electrical schematic diagrams, develops an algorithm of work, performed economic calculations to forecast commercial effects from the implementation of the results of development and evaluation.

ЗМІСТ

ВСТУП	7
1 ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ДОЦІЛЬНОСТІ	
РОЗРОБКИ	11
1.1 Аналіз сучасних оптичних методів контролю деформацій	11
1.2 Вибір та обґрунтування аналогів	20
Висновки до розділу	23
2 РОЗРОБКА ЗАСОБУ ДЛЯ СТВОРЕННЯ СВІТЛОВОГО ДИЗАЙНУ ...	25
2.1 Обґрунтування методу керування інтенсивністю випромінювання світлового джерела світла	25
2.2 Розробка схеми електричної структурної	31
2.3 Розробка схеми електричної функціональної.....	36
2.3.1 Аналіз можливої реалізації блоків структурної схеми	36
2.3.2 Розробка схеми електричної функціональної.....	44
2.4 Розробка схеми електричної принципової.....	47
2.4.1 Вибір елементної бази.....	47
2.4.2 Розробка схеми електричної принципової.....	53
Висновки до розділу	58
3 РОЗРОБКА АЛГОРИТМУ РОБОТИ ПРИСТРОЮ	59
3.1 Оцінювання кількісних параметрів процесу керування яскравістю.....	59
3.2 Розробка блок-схеми алгоритму роботи програми мікроконтролера.....	62
Висновки до розділу	67
4. ЕКОНОМІЧНА РОЗДІЛ	68
4.1 Оцінювання комерційного потенціалу нового виробу.....	68
4.2 Розрахунок кошторису витрат на нову розробку	72
4.3 Прогнозування комерційних ефектів від реалізації результатів розробки	80
4.4 Розрахунок ефективності вкладених інвестицій та періоду їх окупності	81

Висновки до розділу	85
ВИСНОВКИ	86
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ	87
ДОДАТКИ	
Додаток А (обов'язковий) Технічне завдання	92
Додаток Б (обов'язковий) Структурна схема засобу для створення світлового дизайну.....	96
Додаток В (обов'язковий) Функціональна схема засобу для створення світлового дизайну.....	97
Додаток Г (обов'язковий) Схема електрична принципова засобу для створення світлового дизайну.....	98
Додаток Д (обов'язковий) Схема підключення світлодіодних джерел до засобу для створення світлового дизайну.....	99
Додаток Е (обов'язковий) Результати моделювання відтворення рівнів яскравості.....	100
Додаток Ж (обов'язковий) Схема програми засобу для створення світлового дизайну	103

ВСТУП

Світловий дизайн – це один з напрямів дизайну, що базується на використанні різних освітлювальних приладів і джерел світла для одночасного вирішення функціональних, естетичних та емоційних завдань декоративного освітлення [1], [2]. Сьогодні він стає характерним атрибутом сучасного сьогодення, що використовує світло для надання виразності архітектурним спорудам та інтер'єрам, створення особливої атмосфери шоу при проведенні різноманітних розважальних, святкових та урочистих заходів. Розвиток світлодіодних та ІТ технологій відкрив майже необмежені можливості втілення найрізноманітніших дизайнерських рішень.

Актуальність теми

Штучне світло є ємним та мобільним носієм інформації, без якої не можна уявити сучасне місто. Інформаційно-світлові медіа-технології активно впливають на створюване світлокольорове середовище міст, і, з часом, цей вплив буде лише посилюватися [3].

Сьогодні у світловому дизайні широко використовуються технічні рішення, засновані на світлодіодних технологіях. Завдяки успіхам, досягнутим останнім часом по збільшенню яскравості і довговічності світлодіодів, розширенню їх спектрального діапазону, відкриваються нові можливості щодо створення різноманітних, небачених раніше форм світлового дизайну [4].

Багата кольорова палітра відтвореного світла є однією з незаперечних переваг світлодіодних світловипромінювачів. Дизайнерів та аніматорів приваблює чистота випромінюваних спектральних кольорів. Ще одна важлива перевага світлодіодів - відсутність інфрачервоного випромінювання, яке дозволяє встановлювати їх в чутливих до температур зонах поблизу людей і матеріалів. Поряд із цим, відсутність ультрафіолетових випромінювань, які руйнують матеріали і знебарвлюють фарби, перетворює їх в ідеальне світлове рішення для установки у вітринах магазинів, музеях і художніх

галереях [4], [5]. Все це робить світлодіодні прилади безсумнівними лідерами в області світлового дизайну.

Поєднання сучасних цифрових ІТ технології та світлодіодних джерел світла надає можливості створення динамічного освітлення, що підвищує художній ефект підсвічування та створює нові незабутні враження. За допомогою відповідних технічних засобів можна регулювати швидкість і плавність кольорових переходів, керувати яскравістю світлодіодного підсвічування, створювати динамічні світлові ефекти, прописувати і зберігати цілі сценарії їх відтворення. Складні системи управління дозволяють створювати світлові вистави, змінюючи не лише інтенсивність та колір підсвічування, а й напрямок падіння випромінювання, адаптувати зміну світлових ефектів до часу доби, пов'язувати їх зі звуком або рухомою водою. Тому саме динамічні світлові ефекти приходять на зміну статичному підсвічуванню не лише при супроводі шоу, а й при інтер'єрному або ландшафтному дизайні.

У зв'язку з цим покращення функціональних характеристик технічних засобів, що дозволяють створювати різноманітні світлові ефекти з використанням сучасних над'яскравих світлодіодів, є актуальним технічним завданням.

Мета і задачі магістерської роботи

Метою магістерської роботи є покращення функціональних характеристик та розширення функціональних можливостей засобів для створення світлового дизайну з використанням світлодіодних джерел випромінювання.

Поставлена мета досягається вирішенням таких задач:

1. Аналіз сучасних підходів до технічної реалізації засобів для створення світлових ефектів в області світлового дизайну.

2. Визначення ефективного методу керування інтенсивністю світлового потоку світлодіодних джерел випромінювання, який може бути реалізований порівняно простими апаратними та програмними засобами.

3. Визначення побудови засобу для світлового дизайну з використанням світлодіодних джерел випромінювання з покращеними функціональними характеристиками та розширеними функціональними можливостями застосування.

Об'єктом дослідження є процес керування оптичними параметрами світлового потоку, отриманого за допомогою світлодіодних джерел випромінювання.

Предметом дослідження є методи та засоби програмного керування світлодіодними джерелами світла.

Наукова новизна отриманих результатів

Набув подальшого розвитку метод широтно-імпульсної модуляції керування яскравістю світлодіодних джерел випромінювання, при якому на відміну від існуючого при відтворенні малих рівнів яскравості збільшується частота імпульсного сигналу керування, а зміна потужності випромінювання відбувається з врахуванням особливостей зорового сприйняття яскравості. Збільшення частоти імпульсного сигналу керування лише при малій яскравості, якій відповідає мала тривалість імпульсів керування, дозволяє усунути мерехтіння світлодіода при низькій інтенсивності випромінювання при забезпеченні широкого діапазону регулювання яскравості. Врахування особливостей зорового сприйняття яскравості людиною забезпечує рівномірність зміни яскравості.

Практичне значення отриманих результатів

1. Запропоновано структурну та функціональну побудову засобу для створення світлового дизайну дозволяє реалізовувати його з використанням доступної елементної бази без особливих вимог до її продуктивності

2. Запропонована функціональна побудова засобу для створення світлового дизайну дозволяє забезпечити рівномірне регулювання яскравості світлодіодних джерел випромінювання з врахуванням суб'єктивного сприйняття яскравості людиною.

3. Запропонована функціональна побудова засобу для створення світлового дизайну дозволяє керувати світлодіодними джерелами випромінювання по 8-ми незалежним каналам відповідно до різних сценаріїв, заданих користувачем.

Апробація результатів роботи

Результати магістерської кваліфікаційної роботи були оприлюднені на:

XLVII науково-технічній конференції підрозділів Вінницького національного технічного університету (НТКП ВНТУ–2018)

Особистий внесок здобувача

Основні результати роботи отримані автором самостійно.

Обсяг та структура магістерської роботи

Магістерська робота містить вступ, 4 розділи, висновки, перелік джерел посилань і додатки. Загальний обсяг роботи – 103 сторінки, з яких основний зміст викладено на 90 сторінках друкованого тексту, містить 9 рисунків, 9 таблиць. Перелік джерел посилань містить 35 найменувань.

1 ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНОГО ОГРУНТУВАННЯ ДОЦІЛЬНОСТІ РОЗРОБКИ

1.1 Аналіз сучасних засобів для створення світлових ефектів

Однією з основних вимог сучасного світлового дизайну є можливість динамічного управління яскравістю і спектром випромінювання джерела світла за заздалегідь заданими алгоритмами. Такі можливості затребувані перш за все в архітектурному і декоративному підсвічування приміщень, при оформленні вітрин і рекламних стендів, а також в медійній діяльності при створенні різних шоу зі складною світловою сценою. Більшість засобів, що знаходять застосування у світловому дизайні та у сфері розваг, за функціональністю поділяються на три основні категорії [6]:

- світлові ефекти (effect lights),
- точкове світло (spot lights),
- розмите світло (wash lights).

Крім того, всі світлові пристрої, незалежно від категорії, згруповані на світильники DMX і не DMX. DMX (англ. Digital Multiplex) - стандарт, що описує метод цифрової передачі даних між контролерами і світловим, а також додатковим обладнанням. Він описує електричні характеристики, формат даних, протокол обміну даними і спосіб підключення. Цей стандарт призначений для організації взаємодії на комунікаційному і механічному рівнях між контролерами і кінцевими пристроями, виробленими різними виробниками.

В пристроях "світлові ефекти" (Effect Lights) використовується кілька пучків світла, за рахунок переміщення яких забезпечується створення бажаного ефекту. Пристрої цього типу світлові ефекти застосовуються саме для створення світлового шоу, а не для освітлення конкретної області або особи. Деякі пристрої в цій категорії включають пристрої «місячна квітка» (moonflowers), гобо-(gobo) проєктори, а також класичні "дербі" (derby)

ліхтарі [7].

Гобо проектори - освітлювальні пристрої, які використовують гобо і високоякісну оптику для проектування різних форм на великі поверхні, такі як стіни або підлоги. Гобо (GOBO) - походить від "Go Between" або GOes Before Optics - світловий пристрій, в якому промінь світла проходить крізь прорізи з бажаним візерунком і проектує необхідну фігуру на поверхню. Деякі гобо проектори можуть змінювати колір світлового пучка, але частіше можна побачити обертання гобо, яке створює динамічні ефекти проекції. Крім танцюлу, часто використовують гобо для проектування корпоративних логотипів на різних презентаціях [6], [7].

Пристрої "промінь-ефекти" (Beam Effects) – це пристрої, що складаються з безлічі різнокольорових лінз, розташованих навколо центрального джерела світла і вбудованих в сферичні або напівсферичні механізми, також відомі як "mushroom". Такі пристрої можуть мати одну або декілька сфер, які за допомогою мотору можуть обертатися навколо лампи безперервно, або змінювати напрямок цього обертання в залежності від звуків, що сприймаються вбудованим мікрофоном (наприклад, змінюючи напрямок з кожним ударом барабанів). При використанні в поєднанні з генераторами туману, кольорові промені надзвичайно ефективні [6], [7].

Пристрої "квіткові ефекти" (Flower effects) – це автономні пристрої з джерелом світла і з такими регульованими атрибутами, як колір променя, тип гобо, обертання, пристрої, в яких всі ці атрибути контролюються автоматично за допомогою вбудованого мікрофона. Зазначені атрибути можуть обертатися, залишатися незмінними, або спрацьовувати в залежності від конкретних звукових частот. Відсутність DMX-контролю робить пристрої Flower effects незручними для великих майданчиків, але завдяки простоті установки і зручності використання вони чудово підходять для невеликих площ [6], [7].

Центральні світлові пристрої (Centerpiece) – це пристрої, призначені для створення симетричних (відносно центральної осі) світлових ефектів. Як

впливає з назви, ці пристрої призначені для розташування в центрі установки освітлення, як правило, безпосередньо над танцполом. Їх конструкція складається з центральної лампи в оточенні дзеркал, які відбивають світло у всіх напрямках. Для зміни зовнішнього вигляду ефекту можуть використовуватися різні типи дзеркал. Дані пристрої використовують газорозрядні лампи і складаються з дихроїчних або простих дзеркал і моторів, якими управляє складна електроніка. Ці центральні пристрої, як правило, добре працюють разом з Flower effects [6], [7].

Центральні світлові пристрої поділяються на дві групи:

- прості центральні ефекти, в яких, так само як і у Flower effects управління кольором, напрямом променів і типом гобо відбувається через внутрішній мікрофон, синхронізуючись з аудіо; все це відбувається в автоматичному режимі в такт музиці по записаним у пам'яті приладу програмам;

- покращені центральні ефекти, в яких управління здійснюється за DMX512 сигналом, за допомогою якого програмується рух дзеркал, вибір трафаретів і т.д.

Основна сфера застосування професійних центральних світлових пристроїв - дискотеки і нічні клуби, рідше - театри і ресторани.

Сканери (Scanner) – це світлові пристрої, в яких кольорове зображення візерунка утворюється за рахунок керованого просторового динамічного переміщення світлового променя. Основними відмітними ознаками сканерів є:

- створення чіткого променя світла з можливістю його точного позиціонування в просторі за допомогою сканування у двох площинах;

- багатоканальне управління функціональними можливостями приладу сигналом DMX512; протокол DMX512 добре захищений від перешкод і дозволяє управляти сканерами на великій відстані.

Оптика сканера складається з двох керованих дзеркал, які контролюються двома моторами і забезпечують переміщення променя у

вертикальній і горизонтальній площинах. Переміщення світлового променя відбувається досить швидко, оскільки для цього необхідно тільки трохи повернути дзеркало всередині приладу.

Професійні сканери характеризуються:

- потужністю і типом використовуваного джерела світла;
- кількістю металевих і/або дихроїчних трафаретів (гобо), можливістю їх обертання і накладання;
- кількістю створюваних кольорів (у тому числі ефекти "bicolor" і "веселка");
- наявністю призм з можливістю обертання, діафрагми, диммера, різних коригувальних фільтрів, керованого фокусу, ефектів фрост та строб з регульованою частотою і т.д.

Головна перевага сканерів - практично миттєве переміщення променя, недолік - обмежена область сканування.

Пристрої Barrel Mirror Effects – це пристрої, що працюють подібно до сканерів і відрізняються лише наявністю постійно обертового дзеркального циліндра для створення постійної розгортки променя за однією з координат. Так само, як у Flower effects і центральних світлових приладів, у цих пристроїв колір, тип гобо і рух дзеркала синхронізовані з музикою за допомогою вбудованого мікрофона [6].

Пристрої "Color Changers" – це прожектори з автоматичною зміною кольору, тобто формований ними світловий потік може забарвлюватися в різні кольори. Крім функції зміни кольору світла є можливість змішування кольорів. Чим більше кольорових барабанів всередині пристрою, тим більше унікальних кольорів він може відтворити. Пристрої "Color Changers" використовуються в складних постановочних шоу-програмах, де потрібно оперативно змінювати кольори на сцені, в оформленні дискотек, підсвічуванні сцен, барів, ресторанів, створенні інтер'єрного освітлення. Вони ідеально підходять не тільки для світлового дизайну, а й для зовнішнього освітлення.

Основні характеристики професійних Color Changers [6]:

- застосування дихроїчних фільтрів;
- синхронізація позиції фільтра з вихідною лінзою конденсора;
- фокусування променя;
- строб-ефект (за допомогою механічного затвора);
- управління через DMX512 протокол;

Пристрої "Обертальні голови" (Moving Yoke або Moving Head) - це сканери з рухомим корпусом, що утворили цілу самостійну групу світлового обладнання. Вони займають верхню сходинку в ієрархії світлових приладів і належать до інтелектуального класу обладнання або по іншому – є «intelligent lights». Це означає, що «обертальні голови» управляються через окремий сигнальний кабель, підключений до пульта керування.

Головна відмінність між "обертальними головами" та сканерами полягає в тому, що у "Moving head" рухається вся голова, а у сканерів - дзеркала всередині приладу. Тим самим для публіки «обертальні голови» виглядають значно ефектніше. Кут нахилу «обертальної голови», що рухається, - 306 градусів, кут повороту навколо своєї осі - 440 градусів. При цьому Moving head, як правило, рухаються повільніше, ніж сканер, оскільки вони мають велику масу, а в сканері рухається лише просте легке дзеркало. Проте, за порівнянням зі сканером, область сканування «обертальних голів» є набагато ширшою.

Управління "обертальною головою" здійснюється за допомогою пульта управління світлом через DMX512 кабель за різними DMX каналах (для різних параметрів - колір, гобо, діафрагма, кут нахилу і повороту, швидкість руху і т.д.). Важливими параметрами «обертальних голів» є якість оптики, кількість кольорів та кількість типів гобо. Більш дорогі Moving head включають обертальні гобо, призми і набір різних колірних барабанів. Ці функції дозволяють створювати складні ефекти

Ще одним прикладом пристроїв для створення світлових ефектів є

стробоскопи (strobe lights) - пристрої, що забезпечують формування швидко повторюваних яскравих світлових імпульсів.

Для створення кольорового «забарвлення» інтер'єру або фону використовуються прилади для «заливання» і розсіяного світла (Wash lights / Soft Edge Lighting). Ці пристрої використовуються для створення загального фонового розсіяного освітлення, так званого «ambient lighting» [6], [7].

Як було зазначено вище, незалежно від того, в яку категорію потрапляє освітлювальний прилад, вони ще поділяються на DMX і не DMX. Не DMX світильники, як правило, реагують на звук через вбудований мікрофон. Багато з приладів також мають автоматичні налаштування для роботи без звуку або при недостатній його гучності. Світлові прилади цієї категорії часто виготовляються для роботи протягом певного періоду часу, перш ніж вони відключаться (так званий робочий цикл), що призводить до необхідності використання декількох приладів для створення безперервного шоу. Приклад не DMX світильників: Beam effects (промінь-ефекти), Flower effects (квіткові ефекти), GOBO (гобо) проектори.

DMX освітлювальні прилади належать до інтелектуального класу обладнання або по іншому - «intelligent lights». Ці прилади можуть управлятися за допомогою DMX512 консолей або інтерфейсів. Контролер DMX дозволяє програмно управляти пристроєм віддалено, ідеально підходить для важкодоступних місць. Світильники, які підпадають під цю категорію, як правило, не мають робочого циклу і коштують дорожче, ніж не-DMX прилади, але і пропонують більше можливостей для світлових ефектів. Приклади DMX світильників: «обертові голови» і сканери.

Стандарт DMX512 [6] - [8] (від англ. Digital Multiplex) - стандарт, що описує метод цифрової передачі даних між контролерами і світловим, а також додатковим, обладнанням. Він описує електричні характеристики, формат даних, протокол обміну даними і спосіб підключення. Цей стандарт призначений для організації взаємодії на комунікаційному і механічному

рівнях між контролерами і кінцевими пристроями, виробленими різними виробниками.

Стандарт DMX512 дозволяє управляти по одній лінії зв'язку одночасно 512 каналами, (один канал це не прилад, один прилад може використовувати іноді декілька десятків каналів). Кілька (зазвичай парне число) працюючих одночасно апаратів, що підтримують DMX512, дозволяють створювати світлові картини і елементи оформлення різної складності, як усередині приміщень, так і зовні. По одному каналу передається один параметр приладу, наприклад в який колір пофарбувати промінь, який малюнок (гобо-трафарет) вибрати, або на який кут повернути дзеркало по горизонталі в даний момент, тобто куди потраплятиме промінь. Кожен прилад має певну кількість керованих дистанційно параметрів і займає відповідну кількість каналів у просторі DMX512.

Протокол DMX512 має ряд переваг і недоліків, але він отримав велике поширення і зараз де-факто є головним стандартом створення більшості світлотехнічних систем. Він відрізняється простотою, привабливою для виробників пристроїв, що підтримують цей стандарт, і універсальністю при його використанні, що позитивно оцінюється користувачем

На сьогоднішній день існує декілька сучасних пристроїв, що дозволяють з легкістю управляти різними функціями світлового обладнання. Одними з них є RGB-контролери з радіо- пультом дистанційного керування (RF ПДУ) - це можливість керувати освітленням практично з будь-якого місця, не піклуючись про знаходження в прямій видимості контролера. Моделі з висувною антеною дозволяють управляти світлодіодними стрічками на відстані 100м від RGB-контролера, що необхідно для великих приміщень, виставкових залів, коридорів, ресторанів, магазинів і т. д. [8], [9]

Відмінною особливістю контролерів RGB з RF ПДУ є робота тільки зі своїм пультом. Від інших радіопультів контролер працювати не буде, тобто в сусідніх приміщеннях (кімнатах) можна налаштовувати різні світлові

програми, що працюють від різних контролерів.

Контролери з інфрачервоним ПДУ (ІР ПДУ) дозволяють керувати освітленням тільки в межах прямої видимості (10-15м) – це їх єдиний недолік. Проте є маса переваг: простота і дешевизна конструкції, тонкий, елегантний пульт ДУ з великою кількістю кнопок, можливістю прямого вибору статичних та динамічних програм (шляхом натискання на одну кнопку - замість послідовного перебору всіх програм). Крім цього, більшість моделей контролерів мають виносний інфрачервоний датчик на проводі довжиною 20см, що дозволяє приховати контролер, залишивши в межах прямої видимості тільки датчик. ПДУ від різних контролерів взаємозамінні, що дозволяє одним пультом управляти контролерами, встановленими в різних приміщеннях (кімнатах) [6], [8].

Ще одним типом є DMX контролери, які випускаються в різних конфігураціях, від дуже простого трьохкнопового пристрою до повністю комп'ютеризованої системи. Принцип роботи у них однаковий: DMX контролери використовуються для створення складних кольорових ефектів на ПК за допомогою доданого програмного забезпечення. Як правило, всі вони мають USB-порт для підключення до ПК та власне мережеве джерело живлення 220В.

Дані передаються по цифровому протоколу DMX-512. До одного контролера DMX можуть бути приєднані до 170 джерел RGB-освітлення (RGB-прожектори, модулі, світлодіодні стрічки і лінійки). При цьому кожен повзунок на панелі контролера відповідає каналу, що контролює якусь функцію: колір, тип гобо, панорамування, нахил, швидкість миготіння і так далі. Переміщаючи на контролері повзунок, відповідний необхідній функції, приводиться в дію освітлювальний прилад. Різні стани органів керування контролера, що використовуються для створення певного загального ефекту, можуть бути збережені в «сцені». «Сцену» потім можна зберегти у банку пам'яті. Кілька «сцен» можуть бути об'єднані в цілісну програму,

синхронізовану з шоу [8].

Основна перевага DMX-контролерів - це можливість передавати сигнал на великі відстані (до 100 м) без втрати потужності, оскільки передача йде по цифровому протоколу, на відміну від звичайних RGB-контролерів, які передають потужний аналоговий сигнал. Перетворення цифрового сигналу в аналоговий здійснюється в декодерах DMX, вихід якого з'єднаний з джерелом RGB. Таким чином, відстань від одного RGB-прожектора до іншого може доходити до 100 м, тому DMX-системи з успіхом застосовуються для архітектурного підсвічування будівель, підсвічування парків, фонтанів, мостів та інших великих споруд.

Багатоканальні RGB-контролери дозволяють синхронізувати кольорові ефекти RGB-виробів за допомогою паралельного з'єднання до 2 пристроїв, а також приєднувати їх до комп'ютера, створювати свої кольорові ефекти і записувати їх в пам'ять контролера. Крім цього, багатоканальні контролери мають вбудовані програми перемикачів [8], [9].

Для збільшення кількості RGB-модулів, що можуть бути підключені, до одного контролера RGBС, використовують підсилювачі. Вони можуть підключатися до контролера послідовно або паралельно. Паралельна схема більш краща, оскільки зменшує падіння рівня сигналу.

Ще одним типом контролерів є дімери [9], що призначаються для регулювання яскравості одноколірних світлодіодних виробів. Зміна яскравості здійснюється за допомогою потенціометрів або пульта дистанційного керування. Крім найпростіших дімерів, які встановлюються замість вимикачів, існують пакетні дімери. Пакетні дімери це набір електричних розеток, які розроблені для підключення не DMX пристроїв. Через DMX-контролер, пакетний дімер управляє збільшенням або зменшенням напруги, від якої живитися світлові прилади, тим самим, збільшуючи або зменшуючи їх яскравість.

З результатів проведеного аналізу витікає, що найбільш ефективними для створення різноманітних світлових ефектів є DMX пристрої. Саме вони

дозволяють реалізувати складні алгоритми керування комплексом різнопланового світлового обладнання. Проте, через принципи свого функціонування та порівняно високу вартість, DMX пристрої найбільш орієнтовані на застосування під час проведення масштабних розважальних заходів. Більш широкі сфери використання, такі як, наприклад, світлове оформлення атракціонів, нічних клубів, динамічне світлове підсвічування фонтанів або споруд, відкриваються перед пристроями, що підтримують різні режими перемикання джерел кольорового світла в автоматичному режимі. Тому розглядуваний у даній магістерській роботі засіб будемо будувати виходячи з того, що він повинен забезпечувати різні режими багатоканального перемикання світлодіодних джерел світла.

1.2 Вибір та обґрунтування аналогів

Одним з аналогів розглядуваного засобу є пристрій LP-8000 (ANT Electronics, Україна), призначений для програмного керування яскравістю безіндуктивних освітлювальних пристроїв [10]. Світлові програми, які реалізуються пристроєм, дозволяють циклічно змінювати яскравість світлового навантаження по заданому закону. Пристрій дозволяє регулювати темп виконання програми, задавати загальний рівень яскравості світлового ефекту, реалізовувати виконання світлової програми в прямому і зворотному напрямку (реверс), в позитивному і негативному представленні (інверсія).

Реалізація світлових програм з плавною зміною яскравості світлового навантаження дозволяє підвищити художню виразність декоративних елементів світлових або освітлюваних об'єктів, привернути увагу до рекламних вивісок і вітрин, прикрасити зовнішній фасад або інтер'єр громадських та побутових приміщень.

Основні технічні характеристики приладу LP-8000 такі [10]:

1. Кількість каналів керування.....8;
2. Кількість світлових програм8;
3. Кількість кроків в одній програмі64;
4. Кількість градацій яскравості64;
5. Максимальна потужність навантаження одного каналу, Вт250;
6. Напруга живлення, В ~220;

Основними недоліками пристрою LP-8000 є фіксована кількість програм та кроків в одній програмі, а також порівняно висока вартість - біля 8000 грн.

Ще одним з аналогів є [11] 3-х каналний RGB контролер LT-3800 3A (LTECH, Нідерланди), що призначається для керування зміною кольору світлодіодних ламп. Основними сферами застосування пристрою є декоративно-художнє світлове оформлення інтер'єрів: підсвічування ніш, карнизів, полиць, архітектурних елементів, маркування контурів. Виготовлення рекламних і виставкових конструкцій з підсвічуванням. Декоративне (святкове) оформлення вітрин, залів, торгових центрів і т.д.

Контролер LT-3800 3A підтримує 18 різноманітних режимів керування, яке здійснюється за трьома каналами. Вибір режиму здійснюється за допомогою клавіатури на лицевому боці пристрою або за допомогою пульта дистанційного керування. Основні характеристики RGB LT-3800 3A такі [11]:

1. Вхідна напруга, В.....5 – 24;
2. Вихідна напруга, В.....12;
3. Кількість вихідних каналів.....3 (RGB);
4. Максимальний вихідний струм по кожному каналу, А3;

Основними недоліками контролера LT-3800 3A є мінімально можлива кількість вихідних каналів, неможливість змінювати швидкість відтворення ефектів.

Найбільш близьким до пристрою, що розробляється у даній бакалаврській роботі, є контролер світлових ефектів SR05R [12] (Light in Box, Україна.). Контролер призначений для створення багатокольорових

динамічних світлових ефектів на світлодіодах, світлодіодних модулях, світлодіодних стрічках, світлодіодних кластерах, з напругою живлення 12В. Контролер має 16 вбудованих програм перемикання вихідних каналів, швидкість відтворення яких може змінюватися. Вибір програми здійснюється у ручному режимі.

Основні характеристики контролера SR05R такі [12]:

1. Напруга живлення, В12;
2. Тип підключення навантаженнязагальний анод;
3. Кількість вихідних каналів3 (RGB);
4. Максимальний вихідний струм по кожному каналу, А5;

Основними недоліками контролера SR05R є мінімально можлива кількість вихідних каналів та відсутність функції автоматичного перемикання ефектів.

Враховуючи кращі показники розглянутих аналогів сформулюємо основні технічні показники для нової розробки та порівняємо їх з технічними показниками контролера SR05R. При порівнянні кращому значенню показника будемо присвоювати 2 бали, гіршому – один. Результати порівняння технічних характеристик аналога та нової розробки наведені у таблиці 1.1.

Збільшення кількості вихідних каналів розширить функціональні можливості пристрою щодо керування перемиканням світлодіодних джерел, а значить і області застосування пристрою. Шість вихідних каналів можна розглядати як 6 незалежних ліній керування або як 2 незалежних RGB канали, що надасть можливість розширити спектр відтворюваних світло динамічних ефектів.

Заміна дискретного керування швидкістю відтворення ефектів на плавне розширює можливості керування швидкістю відтворення та покращує сприйняття такого керування.

Таблиця 1.1 – Порівняльні характеристики аналога і нової розробки

Показники	Аналог	Нова розробка
Кількість вихідних каналів	3 (1 бал)	не менше 6 (2 бали)
Керування швидкістю відтворення ефектів	Дискретна (1 бал)	Плавна (2 бали)
Підтримка функції автоматичної зміни ефектів	Ні (1 бал)	Так (2 бали)
Підтримка функції відтворення ефектів у такт музики	Ні (1 бал)	Так (2 бали)
Підтримка можливості змінювати набір ефектів	Ні (1 бал)	Так (2 бали)

Підтримка функцій автоматичної зміни ефектів та відтворення ефектів у такт музики також покращує можливості щодо світлодинамічного оформлення та розширює можливі сфери використання пристрою. Зміна ефектів у часі та відтворення їх у такт музики зробить світлодинамічне оформлення більш цікавим та дозволить привертати увагу до нього на більш тривалий час.

Надання можливості користувачу самому визначати набір світлових ефектів і порядок їх відтворення у часі в автоматичному режимі робить нову розробку більш цікавою для потенціальних споживачів і також сприяє розширенню можливостей щодо її застосування. Для отримання таких можливостей пристрій повинен підтримувати підключення до комп'ютера за одним або кількома стандартним інтерфейсам.

Висновки до розділу

Результати проведеного аналізу показали, що однією з основних вимог

до сучасних засобів для світлового дизайну є підтримка динамічного управління яскравістю джерела світла за заданими алгоритмами. Засоби, що забезпечують високу якість та широкі можливості такого управління, мають високу ціну та є достатньо вузько спеціалізованими, бо орієнтовані в основному на створення світлових ефектів у сфері розваг. Більш універсальні пристрої, такі як RGB-контролери, є доступними за ціною, проте достатньо обмежені за своїми функціональними характеристиками і не забезпечують належного рівня якості керування яскравісними характеристиками світлових потоків.

Покращення функціональних характеристик та розширення функціональних можливостей засобу для створення світлового дизайну може бути досягнуто за рахунок забезпечення рівномірного керування яскравістю у широкому діапазоні, збільшення кількості вихідних каналів керування, надання можливості користувачу самому визначати набір світлових ефектів і порядок їх відтворення у часі в автоматичному режимі, плавного регулювання швидкістю відтворення ефектів.

2 РОЗРОБКА ЗАСОБУ ДЛЯ СТВОРЕННЯ СВІТЛОВОГО ДИЗАЙНУ

2.1 Обґрунтування методу керування інтенсивністю випромінювання світлового джерела світла

Для розширення можливостей при реалізації різноманітних світлових ефектів при світловому дизайні треба не лише підтримати перемикання світлодіодних джерел у довільній послідовності, а й забезпечити керування яскравістю їх світіння. Тому визначення підходів до побудови засобу для створення світлового дизайну розпочнемо з аналізу та вибору методу керування яскравістю світіння світлодіодів.

Яскравість світіння світлодіода залежить від значення прямого струму, що протікає крізь нього, який, у свою чергу, експоненціально залежить від прикладеної напруги. При цьому при незначних струмах залежність між світловіддачею світлодіода та його прямим струмом є майже лінійною. При наближенні струму до максимально допустимого, температура кристалу світлодіода підвищується, а світловіддача зменшується [13], [14]. Тому ефективне керування світловим потоком світлодіода можна досягти лише в лінійній області його випромінювальної характеристики.

Існують два поширених способи керування яскравістю світіння світлодіодів: аналоговий та широтно-імпульсна модуляція. Аналоговий спосіб є найбільш простим і здійснюється шляхом зміни струму, що протікає через світлодіод, за рахунок зміни напруги на світлодіоді. При ручному регулюванні яскравості його можна реалізувати за допомогою змінного резистора: зміна опору резистора веде до зміни перерозподілу напруги живлення між напругою на світлодіоді та напругою на резисторі.

Аналоговий спосіб є достатньо проблемним для реалізації в електронних пристроях. Це в першу чергу, пов'язано з необхідністю використання елементів, за допомогою яких досягається зміна напруги у колі керування, під

впливом вхідного сигналу. У цифрових пристроях інформація про необхідне значення напруги у колі керування, задається цифровим кодом, що визначає яскравість світіння джерел світла. Тому обов'язковим елементом цифрового пристрою, при аналоговому способі, буде цифро-аналоговий перетворювач, але це призводить до суттєвих апаратних витрат, при великій кількості вихідних каналів керування.

Широтно-імпульсна модуляція (ШІМ) - це метод перетворення сигналу, при якому змінюється тривалість імпульсу, а частота залишається константою. З розвитком мікропроцесорної техніки перед ШІМ відкрилися нові можливості. Цей принцип став основою для електронних пристроїв, що вимагають, як регулювання вихідних параметрів, так і підтримання їх на заданому рівні. Метод широтно-імпульсної модуляції застосовується для зміни яскравості світла, швидкості обертання двигунів, а також в управлінні силовим транзистором блоків живлення (БП) імпульсного типу. Принцип ШІМ сьогодні став основним для електронних пристроїв, яким потрібна підтримка на заданому рівні вихідних параметрів і їх регулювання [15].

При прикладанні до світлодіода ШІМ сигналу, світлодіод періодично запалюється і гасне. При цьому струм на протязі всього часу спалаху залишається номінальним. Різне співвідношення часу запаленого і погашеного стану сприймається оком як різна яскравість. Іншими словами, для людського ока робота світлодіода в імпульсному режимі сприймається як світіння, яскравість якого залежить від тривалості імпульсу протягом одного періоду [16]:

$$L = \frac{\tau}{T} \cdot L_{\max} . \quad (2.1)$$

де L_{\max} – максимальне значення яскравості світіння світлодіода;

τ – тривалість імпульсу;

T – період.

При використанні широтно-імпульсної модуляції треба враховувати те, що оскільки робота світлодіода у режимі ШІМ являє собою окремі спалахи регульованою тривалості, то для того, щоб ці спалахи сприймалися оком як безперервне світіння, їх частота повинна бути не менше критичної. Для людського ока критична частота складає 50 Гц.

Основними перевагами ШІМ є надзвичайно висока точність регулювання, відсутність зміщення кольору та впливу на термін служби світлодіода [17].

Враховуючи результати проведеного аналізу для керування яскравістю світіння світлодіодів у розглядуваному засобі для створення світлового дизайну доцільно застосовувати принцип широтно-імпульсної модуляції струму, що протікає через світлодіод.

Не зважаючи на те, що ШІМ є найефективнішим методом регулювання яскравості світлодіодів, він має такий основний недолік. При низьких рівнях яскравості, яким відповідає мала тривалість імпульсу і велика тривалість паузи, спостерігається мерехтіння та східчаста зміна яскравості при її регулюванні [18]. Збільшуючи частоту імпульсів можна зробити мерехтіння непомітним, проте зір людини все одно буде втомлюватися з часом. Крім того, при збільшенні частоти звужується діапазон яскравості сірого [17].

У даній магістерській роботі для усунення мерехтіння при низьких рівнях яскравості зі збереженням діапазону яскравості сірого пропонується замінити один короткий імпульс кількома так, щоб сумарна тривалість отримуваних імпульсів дорівнювала тривалості початкового (рис. 2.1). У цьому випадку значення яскравості світлодіода залишається не змінним, проте зменшується час між спалахами, що зменшує мерехтіння світлодіода.

Як було зазначено вище, заміна одного імпульсу кількома повинна відбуватися лише при малих яскравостях, коли тривалість імпульсу τ буде досягати деякого критичного значення τ_0 . Тому такий підхід слабо буде впливати на діапазон яскравості сірого. Критичне значення τ_0 відповідає

моменту, коли мерехтіння світлодіода стає помітним.

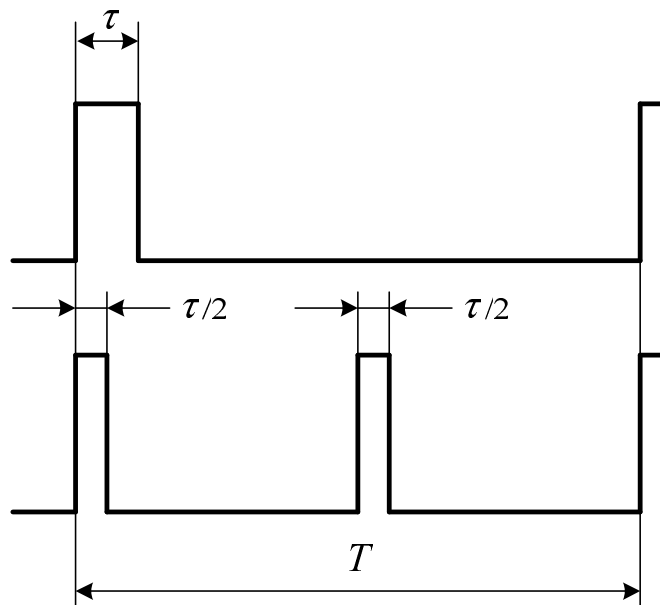


Рисунок 2.1 – Заміна короткого імпульсу кількома

У результаті експериментального дослідження було встановлено, що при частоті 100 Гц, якій відповідає період $T = 10$ мс, мерехтіння стає помітним при тривалості імпульсу $\tau_0 = 500$ мкс = 0,5 мс. Це означає, що мерехтіння стає помітним, коли тривалість імпульсу становить менше, ніж $0,5/10 = 0,05 \cdot T$. Отже, у розглядуваному засобі для створення світлового дизайну будемо передбачати, що при керуванні яскравістю світлодіодних джерел випромінювання за допомогою ШІМ тривалість імпульсу не повинна стати меншою за $0,05 \cdot T$. Кожний раз, коли у результаті подальшого зменшення яскравості буде досягтися це критичне значення, будемо поділяти імпульс на два з удвічі меншою тривалістю.

При керуванні яскравістю треба враховувати ще те, що чутливість людського ока до яскравості світла не є лінійною. У результаті, якщо лінійно збільшувати яскравість світлодіода, то людині, навпаки, буде здаватися, що яскравість змінюється нерівномірно. Якщо ж потрібно, щоб зміна яскравості суб'єктивно здавалася рівномірною, то слід використовувати нелінійний закон

зменшення або збільшення яскравості [17], [18].

Залежність зорового сприйняття яскравості джерела від його дійсної яскравості підпорядковується основному психофізичному закону Стивенса [19], [20]:

$$R = k \cdot S^n . \quad (2.2)$$

де R – суб'єктивна величина відчуття;

S – сила подразника;

k – деякий коефіцієнт, що залежить від одиниць вимірювання;

n – показник, що залежить від характеру подразника.

Для яскравості $n = 0,33$ [19], [20]. Таким чином, при керуванні яскравістю світлодіодів треба враховувати, що яскравість R , яка сприймається оком, пов'язана з дійсною яскравістю світлодіода L , формулою:

$$R = k \cdot L^{0,33} \approx k \cdot L^{\frac{1}{3}} . \quad (2.3)$$

З виразу (2.3) витікає, що приріст суб'єктивного сприйняття яскравості R , відстає від приросту її дійсного значення L . З виразу (2.3) знайдемо, якою повинна бути дійсна яскравість L щоб її суб'єктивне значення складало R :

$$L = \left(\frac{R}{k} \right)^3 . \quad (2.4)$$

Прологарифмуємо вираз (2.4):

$$\ln L = \ln \left(\frac{R}{k} \right)^3 = \ln R^3 - \ln k^3 = 3 \ln R - 3 \ln k . \quad (2.5)$$

Диференціюючи вираз (2.5), отримаємо:

$$\frac{\Delta L}{L} = 3 \cdot \frac{\Delta R}{R}. \quad (2.6)$$

Таким чином, відносний приріст дійсної яскравості є утричі більшим за відносний приріст суб'єктивної. З виразу (2.1):

$$\Delta L = \frac{L_{\max}}{T} \cdot \Delta \tau. \quad (2.7)$$

З виразів (2.1) та (2.7) отримаємо:

$$\frac{\Delta L}{L} = \frac{\Delta \tau}{\tau}. \quad (2.8)$$

З врахуванням (2.8) вираз (2.6) набуде вигляду:

$$\frac{\Delta \tau}{\tau} = 3 \cdot \frac{\Delta R}{R}. \quad (2.9)$$

Нехай треба отримати N відтінків кольору в діапазоні від 0 до R_{\max} . Тоді крок дискретизації значень яскравості ΔR складе:

$$\Delta R = \frac{R_{\max}}{N - 1}. \quad (2.10)$$

Для плавного регулювання яскравістю потрібно, щоб відносна зміна δ яскравості при переході від одного значення R_i до іншого R_{i+1} була однаковою для будь-яких R_i та R_{i+1} . Відповідно до цього δ можна визначити як:

$$\delta = \frac{\Delta R}{R_{\max}} = \frac{\frac{R_{\max}}{N-1}}{R_{\max}} = \frac{1}{N-1}. \quad (2.11)$$

З врахуванням цього вираз (2.9) набуде вигляду:

$$\frac{\Delta \tau}{\tau} = 3 \cdot \frac{1}{N-1}. \quad (2.12)$$

Звідки

$$\Delta \tau = 3 \cdot \frac{\tau}{N-1}. \quad (2.13)$$

При визначенні формули (2.11) для відносного збільшення яскравості, за початкове значення приймалося її максимальне значення. Тому, з врахуванням виразу (2.13), значення τ_i , яким будуть відповідати значення суб'єктивної яскравості R_i , утворюють ряд, що спадає,:

$$\tau_{i-1} = \sum_{i=N}^0 \left(\tau_i - 3 \cdot \frac{\tau_i}{N-1} \right) = \sum_{i=N}^0 \tau_i \left(1 - 3 \cdot \frac{1}{N-1} \right), \quad (2.14)$$

Початкове значення $\tau_N = \tau_{\max}$ – максимальна тривалість імпульсу, якій відповідає максимальне значення суб'єктивної яскравості R_{\max} . Значення тривалості імпульсу τ_{\max} потрібно вибирати відповідно до значення вибраної частоти ШІМ f .

2.2 Розробка схеми електричної структурної

Для покращення споживчих якостей розглядуваного засобу для створення світлового дизайну, треба передбачити у ньому забезпечення будь-

якого алгоритму вмикання/вимикання вихідних каналів (світлодіодів). При цьому, потенційному користувачу необхідно надати можливість самому задавати послідовність, у якій світлодіоди будуть вмикатися-вимикатися. Крім того, для розширення можливостей використання, доцільно передбачити підтримку перемикання каналів у такт звукових сигналів. Усі ці завдання можливо реалізувати лише тоді, якщо при будувати розглядуваний засіб на основі мікроконтролерного пристрою. Використання мікроконтролерів дозволяє конструювати пристрої, що володіють такими якостями, як невеликі габарити, відносна дешевизна, простота і надійність, можливість організувати взаємодію з персональним комп'ютером через стандартні інтерфейси. Реалізація засобу для світлового дизайну на базі мікроконтролера надасть багато переваг, основними з яких є мінімізація апаратних витрат та можливість легко вносити зміни в алгоритм роботи пристрою.

З врахуванням викладеного вище приходимо до структурної схеми засобу для створення світлового дизайну, яка наведена у додатку Б. Основними функціональними блоками пристрою є: мікроконтролерний блок, драйвер світлодіодів, енергонезалежна пам'ять, мікрофон, активний фільтр низьких частот, контролер USB та органи керування.

Мікроконтролерний блок є основним функціональним блоком розглядуваного засобу. Він керує роботою усіх інших блоків шляхом формування інформаційних та керуючих сигналів. Основна задача цього функціонального блоку – забезпечити відтворення світлових ефектів, заданих послідовностями двійкових кодів, які будуть зберігатися в енергонезалежній пам'яті.

Для надання більш широких можливостей у створенні світлового дизайну потрібно передбачити кілька каналів, щоб можна було незалежно керувати ати світлодіодами з різним кольором світіння. Сьогодні на ринку пропонуються світлодіоди червоного, жовтого, зеленого та синього відтінків кольору світіння. Тому кількість вихідних каналів, керування якими повинен

забезпечувати мікроконтролерний блок, не повинна бути меншою за 4. Враховуючи результати проведеного у підрозділі 1.2 аналізу аналогів, кількість вихідних каналів у розглядуваному засобі вибрано рівною 8.

Відтворення світлових ефектів буде здійснюватися мікроконтролером шляхом вмикання/вимикання відповідних світлодіодів через певні проміжки часу. Це вмикання/вимикання здійснюється за допомогою драйвера світлодіодів. Основна задача драйвера - забезпечити протікання через певні вихідні канали заданих струмів. При цьому, струми, що протікають через світлодіоди повинні бути постійними і не залежати від кількості світлодіодів, що можуть бути послідовно підключені до вихідних каналів. Це дозволить послідовно підключати до кожного з виходів пристрою різну кількість світлодіодів.

Для того, щоб користувач міг самостійно визначати послідовність вмикання/вимикання світлодіодів, що підключені до різних каналів, йому треба надати можливість вносити зміни у структуру даних, що зберігаються в енергонезалежній пам'яті мікроконтролера. Дані, які повинні бути записані в пам'ять, можуть формуватися за допомогою спеціальної програми на комп'ютері, а потім передаватися у засіб для створення світлового дизайну.

Передача даних між комп'ютером та будь яким пристроєм може здійснюватися у паралельному або послідовному форматах. Паралельний спосіб передачі даних характеризується більшою швидкістю, ніж послідовний, проте вимагає значно більшої кількості ліній зв'язку. Оскільки для розроблюваного пристрою оперативність зміну даних у пам'яті не має суттєвого значення, бо вона буде відбуватися дуже рідко, лише у моменти, коли треба внести зміни в алгоритм перемикання світлодіодів, вибираємо послідовний спосіб обміну даними. У цьому випадку кількість ліній мікропроцесорного блоку, які задіяні у процесі обміну даними із зовнішньою комп'ютером буде мінімальною.

Обмін даними у послідовному форматі може бути синхронним або

асинхронним. Сьогодні для зв'язку комп'ютером із різними зовнішніми пристроями найчастіше використовується асинхронна передача по USB шині. Інтерфейс USB (Universal Serial Bus - універсальна послідовна шина) є промисловим стандартом для обміну даними між хост-комп'ютером і різноманітними периферійними пристроями. Розподіл пропускнуої здатності шини між периферійним пристроєм планується хостом і реалізується ним за допомогою посилки маркерів.

Фізично інтерфейс USB утворюється чотирма лініями: дві для передачі даних, дві для подання напруги живлення. Для передачі інформаційних сигналів використовується диференціальний спосіб передачі сигналів по лініях, які позначаються як D+ і D-. Рівні сигналів, якими передаються дані, повинні бути нижче 0,3 В (низький рівень) або вище 2,8 В (високий рівень) [21].

У режимі обміну даними розроблюваний пристрій є підпорядкованим пристроєм, здатним передавати або приймати дані або керуючу інформацію із шини USB. Контролер USB підтримує фізичний рівень інтерфейсу USB. Алгоритмічний рівень підтримується цифровим блоком контролю та управління. Функції хоста, який керує обміном даними є комп'ютер. У момент підключення цифровий блок контролю та управління повинен надати хосту конфігураційну інформацію, що описує можливості пристрою для відтворення світлових ефектів і вимоги до ресурсів.

Данні, що надходять по каналу зв'язку зчитуються мікроконтролерним блоком та записуються в енергонезалежну пам'ять. Після завершення програмування мікроконтролерний блок буде переходити в робочий режим, в якому він зчитує данні із пам'яті, та використовує їх для визначення керуючих сигналів, що будуть визначати послідовність вмикання/вимикання світлодіодів.

Як було зазначено вище розширення можливостей використання засобу для створення світлового дизайну доцільно передбачити у ньому підтримку

функції відтворення світлових ефектів у такт звуковим сигналам. Для отримання такої можливості до складу засобу введенні мікрофон та активний фільтр низьких частот. За допомогою мікрофона звукові акустичні коливання перетворюються в електричні сигнали. Фільтр низьких частот забезпечує виділення з них сигналів лише низької частоти. Саме вони будуть використовуватися для визначення моментів перемикання світлодіодів.

Електричні фільтри бувають пасивні та активні. Схеми пасивних фільтрів містять тільки пасивні елементи: резистори, конденсатори і котушки індуктивності. В активних фільтрах крім зазначених елементів використовуються транзистори або інтегральні підсилювачі. Фільтруючі властивості фільтра визначаються його амплітудно-частотною характеристикою, яка являє собою залежність коефіцієнта підсилення від частоти.

Для того щоб мати можливість підсилити низькочастотні складові сигналу на виході мікрофона у розглядуваному засобі будемо використовувати активний фільтр низьких частот. Підсилені за амплітудою до значення напруги логічної одиниці коливання низької частоти надходять на вхід мікроконтролерного блоку. За кожною зміною сигналу на виході фільтра з низького логічного рівня на високий мікроконтролерний блок переходить до формування чергового такту світлового ефекту, забезпечуючи його відтворення у такт, наприклад, музичного супроводу.

Розглядуваний засіб для створення світлового дизайну потрібно реалізовувати так, щоб у ньому була передбачена можливість підтримки кількох алгоритмів, за якими вмикаються/вимикаються вихідні канали. Тому одним з режимів роботи пристрою буде режим, при якому відтворюється вибраний користувачем світловий ефект. Крім того, доцільно передбачити можливість змінювати спосіб вмикання/вимикання каналів. Можна виділити 4 режими вмикання/вимикання: різко, плавно, вмикання плавно – вимикання різко та вмикання різко – вимикання плавно. Також доцільно передбачити

режим, при якому усі ефекти відтворюються циклічно. Нарешті, повинна надаватися можливість змінювати швидкість відтворення ефектів. Відповідно до цих режимів роботи пристрою як органи керування передбачимо шість кнопок: для перемикання між ефектами вперед, для перемикання між ефектами назад, для вибору режиму вмикання/вимикання, для переведення пристрою в режим циклічного відтворення ефектів, для збільшення швидкості відтворення ефекту, для зменшення швидкості відтворення ефекту.

2.3 Розробка схеми електричної функціональної

2.3.1 Аналіз можливої реалізації блоків структурної схеми

Визначення підходів до реалізації функціональної схеми засобу для створення світлового дизайну будемо проводити, використовуючи результати, отримані у попередньому розділі. Основою для розробки функціональної схеми є схема електрична структурна. Як було зазначено у попередньому підрозділі головним блоком розглядуваного засобу для створення світлового дизайну є мікроконтролерний блок, який буде реалізовуватися на мікроконтролері.

У даний час випускаються мікроконтролери з розрядністю шини даних 8, 16 і 32 біта. Не зважаючи на те, що продуктивність та функціональні можливості 16 та 32 розрядних мікроконтролерів потенційно є вищими, реальні продажі 8 бітних мікроконтролерів продовжують рости, через те що вони активно закладаються у нові проекти. Причин тому кілька [22]:

- вартість 8-ми бітного мікроконтролера і рішення на його основі, включаючи додаткові компоненти, нижче, ніж у конкуруючих архітектур;
- порівняна простота розробки і налагодження коду;
- обчислювальна потужність більш ніж достатня для величезного

числа додатків;

- широкий набір периферійних блоків;

Завдяки цим перевагам 8-ми бітні мікроконтролери залишаються найпростішим і економічно ефективним рішенням для здійснення основних операцій керування у промисловості, побутовій та комп'ютерній техніці. Вони пройшли в своєму розвитку шлях від найпростіших приладів з відносно слаборозвиненою периферією до сучасних багатфункціональних контролерів, що забезпечують реалізацію складних алгоритмів керування в реальному масштабі часу. Причиною життєздатності 8-розрядних мікроконтролерів є використання їх для управління реальними об'єктами, де застосовуються, в основному, алгоритми з переважанням логічних операцій, швидкість обробки яких практично не залежить від розрядності процесора. Зростанню популярності 8-розрядних мікроконтролерів сприяє і постійне розширення номенклатури виробів, що випускаються такими відомими фірмами, як Motorola, Microchip, Intel, Zilog, Atmel і багатьма іншими [23].

З точки зору системи команд і способів адресації операндів процесорне ядро сучасних 8-ми бітних мікроконтролерів реалізує один з двох принципів побудови процесорів CISC і RISC. На відміну від CISC архітектури у процесорах з RISC-архітектурою набір виконуваних команд скорочений до мінімуму. При цьому усі команди мають формат фіксованої довжини, що дозволяє здійснити вибірку команди з пам'яті та її виконання за один цикл (такт) синхронізації. Це забезпечує більшу продуктивність при однаковій тактовій частоті. Крім того, система команд RISC-процесора передбачає можливість рівноправного використання усіх регістрів, що забезпечує додаткову гнучкість при виконанні ряду операцій [23], [24].

З врахуванням викладеного вище та того, що функціонування розглядуваного засобу для створення світлових ефектів не вимагає необхідності реалізації складних обчислювальних процедур, мікроконтролерний блок доцільно будувати на 8-ми бітному мікроконтролері з

RISC архітектурою.

Наступним важливим структурним блоком є драйвери світлодіодів. Як було зазначено при визначенні структурної схеми основна задача драйвера полягає у забезпеченні протікання заданих струмів через вихідні канали пристрою. Однією з особливостей розроблюваного пристрою, яка вигідно відрізняє його від аналога, є отримання можливості послідовного підключення на кожний з його виходів різної кількості світлодіодів. Це вимагає реалізацію вихідних кіл драйверів у вигляді джерел струму. Лише у цьому випадку яскравість світіння світлодіодів, що послідовно підключені до виходу, не буде залежати від їх кількості.

Сьогодні на ринку пропонується велика кількість різноманітних світлодіодних драйверів, в яких стабільність струму у ланцюгу світлодіодів підтримується за рахунок регулювання вихідної напруги. До них належать як імпульсні джерела живлення, так і спеціалізовані мікросхеми, що призначаються для керування світлодіодами.

З точки зору застосування у розглядуваному засобі ні ті, ні інші не можуть бути використані. Джерела живлення не мають функції керованого вмикання/вимикання, а інтегральні драйвери світлодіодів – характеризуються порівняно малим вихідним струмом. Крім того, наявність мікроконтролера дозволяє обійтися без застосування інтегральних драйверів, що забезпечить зменшення вартості пристрою.

Драйвери світлодіодів у розглядуваному засобі для створення світлового дизайну можна побудувати на джерелах струму та ключових елементах. При цьому можливі кілька варіантів такої побудови.

При одному з варіантів використовується одне загальне джерело струму до якого вихідні канали підключаються за допомогою ключових елементів (рис. 2.2). Керування ключовими елементами здійснюється мікроконтролером. При такому варіанті струм у кожному підключеному до джерела струму вихідному каналі буде залежати від кількості каналів, підключених у даний

момент часу. Тому такий варіант є не прийнятним.

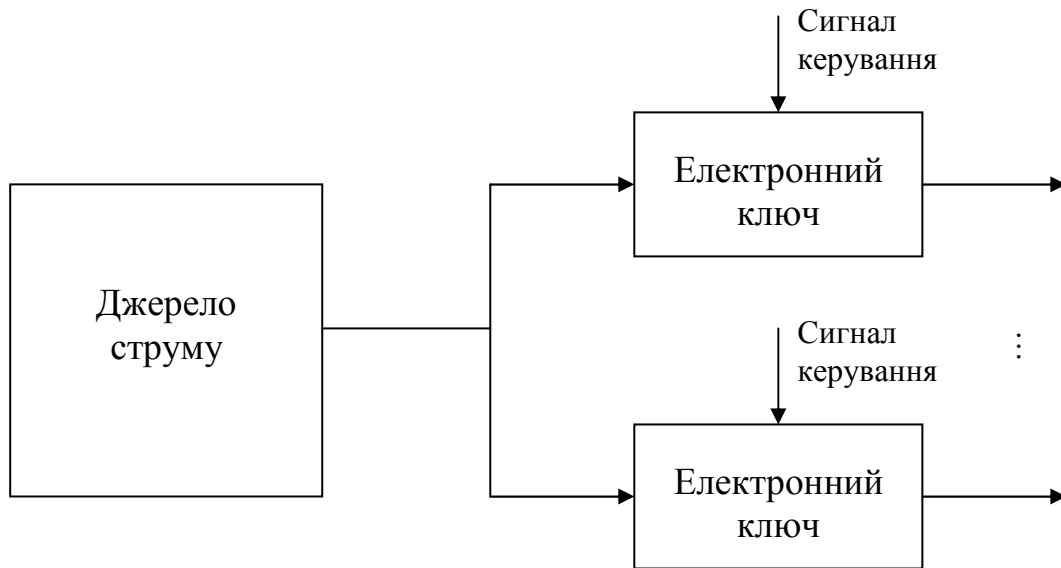


Рисунок 2.2 – Варіант побудови драйвера світлодіодів на одному джерелі струму

Ще одним варіантом є варіант, при якому на кожний канал використовується своє джерело струму. Підключення або відключення каналів до відповідних їм джерел забезпечується ключовими елементами (рис. 2.3). У цьому випадку струм кожного вихідного каналу не буде залежати від струму в інших каналах. Головним недоліком такого варіанту є те, що ключові елементи повинні "витримувати" вихідний струм каналу.

Зменшити вимоги до максимально допустимого струму ключових елементів можна за рахунок використання керованих джерел струму, тобто таких джерел вмикання/вимикання якого можна здійснювати електричним сигналом. У цьому випадку ключові елементи повинні будуть забезпечити протікання лише струм керування, який буде набагато меншим за вихідний струм джерела.

Найбільш доцільно джерела струму будувати на лінійних інтегральних стабілізаторах. Хоча лінійні генератори струму і не забезпечують високої ефективності використання енергії джерела живлення, вони відрізняються

простотою, відсутністю електромагнітного випромінювання і, саме головне, низькою вартістю. Для того щоб не обмежувати користувача у виборі варіанта підключення світлодіодів до виходів розроблюваного пристрою, треба використовувати регульовані стабілізатори, в яких значення вихідного струму визначається зовнішнім компонентом, найчастіше, резистором.

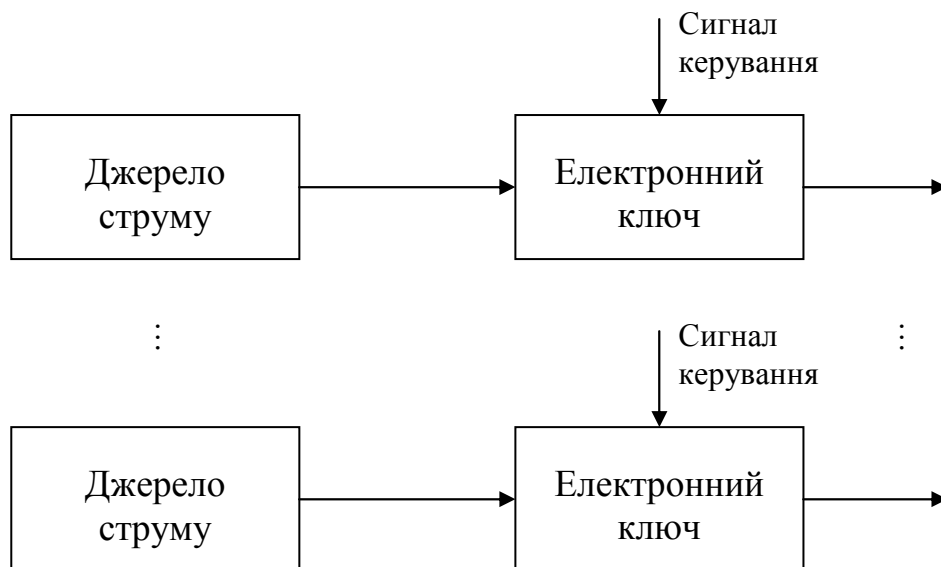


Рисунок 2.3– Варіант побудови драйвера світлодіодів з індивідуальним джерелом струму на кожний вихідний канал

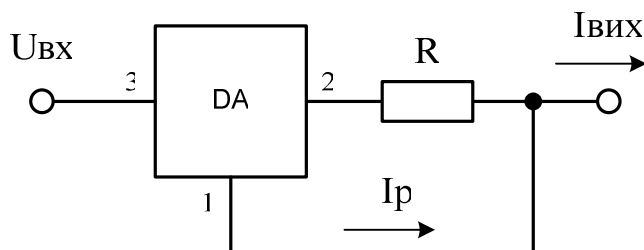


Рисунок 2.4 – Стабілізатор струму на регульованому інтегральному стабілізаторі

Типова схема використання інтегрального стабілізатора в якості джерела стабілізованого струму наведена на рис. 2.4 [25]. Значення вихідної напруги стабілізатора DA, яка формується на виводі 2, більша за напругу на вході

регулювання (вивід 1) на значення опорної напруги. Тому значення вихідного струму визначається опором резистора R

Вимикання вихідного кола в схемі на рис. 2.4 можна забезпечити замиканням входу регулювання на "землю". Для цього у схему треба додати транзистор, увімкнений між входом регулювання та "землею" рис. 2.5.

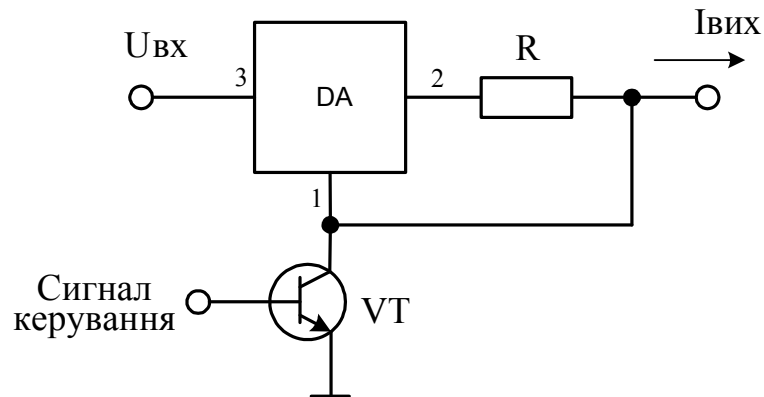


Рисунок 2.5 – Стабілізатора струму на регульованому інтегральному стабілізаторі з електронним вмиканням/вимиканням

При вмиканні транзистора напруга на виводі 1 наближається до нульового значення. Оскільки вивід 1 з'єднаний з виходом джерела струму, вмикання транзистора призведе до «закорочування» навантаження. У результаті весь струм потече не через навантаження, а через транзистор. Для розширення можливостей використання, треба врахувати, що вихідний струм каналу може досягати 1 А. Тому схема на рис. 2.5 не є прийнятною, оскільки вимагає використання потужного транзистора. Крім того, при такому варіанті споживаний струм не залежить від кількості увімкнених каналів, залишаючись максимальним. Усунути цей недолік дозволить включення резистора між виходом схеми та колектором транзистора. Тому остаточний варіант реалізації драйверів світлодіодів приймаємо таким, який наведений на рис. 2.6.

При вмиканні транзистора напруга на виводі регулювання 1 наближається до нульового значення. Відповідно до цього напруга на виводі 2 стає рівною опорній напрузі. Враховуючи, що опір резистора R3 набагато

перевищує опір резистора R_2 , напруга на виході драйвера також буде близькою до опорної. Вихідний струм при цьому буде близьким до нуля.

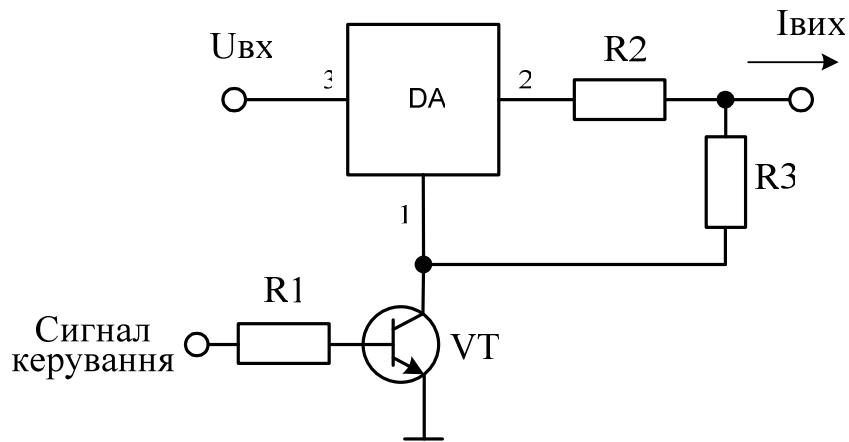


Рисунок 2.6 – Стабілізатора струму на регульованому інтегральному стабілізаторі з електронним вмиканням/вимиканням

Ще одним структурним блоком, який потребує аналізу, є активний фільтр низьких частот. Найпростішим активним фільтром низьких частот є інтегратор на операційному підсилювачі (рис. 2.7) [26].

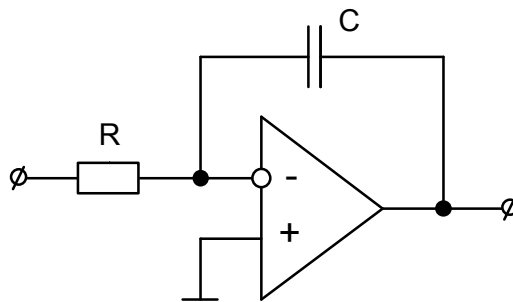


Рисунок 2.7 – Інтегратор на операційному підсилювачі

Кращі характеристики має схема, що зображена на рис. 2.8, властивості якої не залежать від опору навантаження [27]. Саме такий варіант реалізації активного фільтра низьких частот будемо використовувати у розроблюваному пристрої.

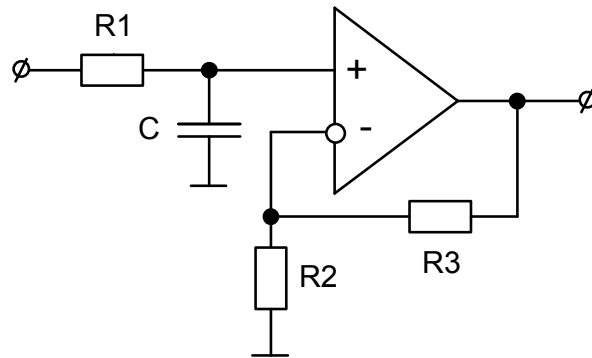


Рисунок 2.8 – Фільтр низьких частот на операційному підсилювачі

Як запам'ятовуючий пристрій для даних, що визначають відтворювані світлові ефекти будемо використовувати пам'ять з електричним старанням, реалізовану за технологією EEPROM. Для зменшення кількості ліній, що утворюють інтерфейс з пам'яттю, треба вибирати мікросхему з послідовним інтерфейсом. Як правило мікросхеми EEPROM підтримують підключення по дводротовій асинхронній шині I²C, що містить дві сигнальні лінії, одна з яких (SCL) призначена для передачі тактового сигналу, друга (SDA) - для передачі даних. Для керування лініями використовуються вихідні каскади з відкритим колектором. Пристрої, що обмінюються даними через I²C поділяються на «Master» та «Slave». Пристрій «Master» генерує тактовий сигнал і є ініціатором обміну. Він може адресувати будь-який пристрій «Slave». Всі пристрої «Slave» приймають адрес і, розпізнаючи його як власний, виконують передбачувану операцію – читання або запис.

Останнім блоком структурної схеми є блок ручного керування. Як було зазначено при розгляді структурної схеми він буде складатися з шести кнопок. Одна для перемикання між ефектами вперед, друга для перемикання між ефектами назад, третя для вибору режиму вмикання/вимикання, четверта для переведення пристрою в режим відтворення ефектів «по колу», п'ята та шоста для збільшення та зменшення швидкості відтворення ефектів. Для того щоб надавати інформацію, в якому режимі відбувається відтворення світлових

ефектів достатньо використати 4 індикаторних світлодіоди. Три світлодіоди будуть відображати режими вмикання/вимикання каналів. Четвертий буде використовуватися для індикації режиму циклічного відтворення ефектів.

2.3.2 Розробка схеми електричної функціональної

За результатами проведеного аналізу приходимо до функціональної схеми засобу для створення світлового дизайну, яка наведена у додатку В. Основним елементом схеми є мікроконтролер DD3. Головна задача мікроконтролера – керування вмиканням/вимиканням вихідних каналів, яке здійснюється за допомогою драйверів, що побудовані на інтегральних стабілізаторах DA3 ÷ DA10 та транзисторах VT1 ÷ VT8. Підключення світлодіодних джерел світла до драйверів здійснюється через роз'єм X4.

Елементи DA3 ÷ DA10 працюють в режимі джерела струму, значення якого задається номіналом резисторів R22 ÷ R29. Вмикання/вимикання цих джерел здійснюється транзисторними ключами на транзисторах VT1 ÷ VT8. Резистори R6 ÷ R13 обмежують базові, а резистори R14 ÷ R21 - колекторні струми транзисторів.

Однією з основних вимог до розглядуваного засобу для створення світлового дизайну є можливість підключення до його виходів різної кількості світлодіодних джерел, яка може змінюватися у широких межах. Обмеження накладається лише на максимально допустимий споживаний струм, який не повинен бути більшим за 1 А. Для того, щоб користувач міг сам визначати кількість світлодіодних джерел, що підключаються до кожного з каналів, та схему їх взаємного включення, йому потрібно самому задавати вихідний струм по кожному з каналів. Тому резистори R22 ÷ R29, які визначають значення цього струму, будуть мати зовнішнє підключення.

Напруга VCC, яка потрібна для живлення вихідних кіл, подається через

роз'єм X1. Ця сама напруга використовується для живлення пристрою. Оскільки значення напруги VCC залежить від вибраної користувачем схеми підключення світлодіодних джерел, а для живлення пристрою потрібна фіксована напруга, у схему пристрою введений лінійний перетворювач напруги DA2.

Послідовність вмикання/вимикання вихідних каналів, яка забезпечує відтворення світлового ефекту, реалізується мікроконтролером на основі даних, що зберігаються в енергонезалежній пам'яті даних DD1. Обмін даних з елементом DD1 здійснюється через дводотову синхронну шину I²C, яка складається з лінії SCL для передачі тактових імпульсів та лінії SDA для передачі даних.

Інформація, що зберігається в DD1, визначає алгоритми, за якими повинні перемикатися вихідні канали. Ця інформація формується користувачем на комп'ютері і передається у пристрій через USB шину. Прийомом даних та їх записом у пам'ять керує мікроконтролер. Надходження даних у мікроконтролер забезпечує елемент DD2, який забезпечує фізичне та функціонал не підключення до USB шини через роз'єм X2.

Через роз'єм X3 до пристрою підключається мікрофон для забезпечення відтворення світлових ефектів у такт музики. На операційному підсилювачі DA1 побудований активний фільтр низьких частот. Низькочастотні коливання, наростаючі фронти яких визначають момент зміни такту відтворюваного ефекту.

Кнопки SB1 ÷ SB6 призначаються для керування та вибору режиму відтворення світлових ефектів. Кнопки SB1 та SB2 забезпечують ручний вибір світлового ефекту. При цьому за кожним натисканням на кнопку SB1 здійснюється перехід до наступного ефекту (перебір ефектів уперед), а за кожним натисканням на кнопку SB2 – до попереднього (перебір ефектів назад). Перебір ефектів відбувається по колу. Так, при переборі ефектів уперед при досягненні останнього ефекту у списку за черговим натисканням на

кнопку SB1 відбувається перехід до першого ефекту. Аналогічно, при переборі ефектів назад при досягненні першого ефекту у списку за черговим натисканням на кнопку SB2 відбувається перехід до останнього ефекту.

Кнопка SB3 призначається для вибору режиму перемикання вихідних каналів пристрою. Як було зазначено при розробці структурної схеми, таких режимів є чотири: різке вмикання/вимикання, плавне вмикання/вимикання, плавне вмикання/різке вимикання та різке вмикання/плавне вимикання. Перебір цих режимів, так само як і перебір ефектів, здійснюється по колу.

Кнопка SB4 призначається для переведення пристрою в режим автоматичного відтворення усіх записаних у пам'ять ефектів. У цьому режимі світлові ефекти відтворюються у випадковому порядку, тобто після повного відтворення чергового ефекту розпочинається відтворення нового, який вибирається випадковим чином.

Кнопки SB5 та SB6 забезпечують зміну швидкості відтворення ефектів. При натисканні на кнопку SB5 швидкість відтворення збільшується, а при натисканні на кнопку SB6 – зменшується.

Для підвищення інформативності при ручному керуванні при відтворенні світлових ефектів використовуються світлодіоди HL1 ÷ HL4. Світлодіоди HL1 ÷ HL3 призначаються для індикації режиму перемикання вихідних каналів. Неактивний стан світлодіодів відображає режим, в якому вмикання/вимикання каналів здійснюється різко. Світіння світлодіода HL1 відповідає режиму, в якому вмикання/вимикання каналів відбувається плавно. У режимі плавне вмикання/різке вимикання світиться світлодіод HL2, а в режимі різке вмикання/плавне вимикання – світлодіод HL3. Світіння світлодіода HL4 відповідає режиму автоматичного відтворення ефектів.

2.4 Розробка схеми електричної принципової

2.4.1 Вибір елементної бази

Як було зазначено у попередньому підрозділі мікроконтролерний блок доцільно будувати на 8-ми розрядному мікроконтролері з RISC-архітектурою, оскільки сьогодні вони оптимальне співвідношення пропонованої продуктивності та ціни. У теперішній час серед 8-ми розрядних RISC мікроконтролерів є мікроконтролери AVR. Ядро AVR-контролерів складає потужний гарвардський RISC-процесор з роздільним доступом до пам'яті програм і даних і розвинутою системою команд фіксованої 16-бітної довжини.

Базова архітектура AVR складається з [27], [28] тридцяти двох регістрів загального призначення, кожний з яких може працювати як регістр-акумулятор, 8-ми та 16-ти розрядних таймерів-лічильників, що підтримують широтно-імпульсну модуляцію, аналогового компаратора, асинхронного та синхронного послідовних приймачів/передавачів UART і SPI, сторожового таймера та пристрою скидання по вмиканню живлення. Усе це перетворює AVR-мікроконтролери в могутній інструмент для побудови сучасних, високопродуктивних і економічних контролерів різного призначення.

Усі AVR мають Flash-пам'ять програм та енергонезалежну пам'ять даних EEPROM. Пам'ять програм призначена для зберігання послідовності команд, керуючих функціонуванням мікроконтролера, і має 16-ти бітну організацію. Її головна перевага в тому, що вона побудована на принципі електричної перепрограмованості, тобто допускає багатократне стирання і запис інформації. Об'єм пам'яті, в залежності від типу мікроконтролера, може бути від 1 до 256 КБайт. Гарантована кількість циклів перезапису – не менше 10 тис. при типовому значенні 100 тис.

Енергонезалежна пам'ять даних EEPROM призначається для довготривалого зберігання різної інформації, яка може змінюватися в процесі

функціонування мікроконтролерної системи. Пам'ять EEPROM, об'єм якої може складати від 64 Байт до 4 КБайт, доступна програмно і зручна для зберігання різних констант, коефіцієнтів, серійних номерів, ключів і т.п.. Крім того, ця енергонезалежна пам'ять даних, так само як Flash-пам'ять програм, може бути завантажена ззовні за допомогою програматора. Кількість циклів стирання/запис - не менше 100 тис.

Оперативна пам'ять даних належить до ОЗП статичного типу, має байтовий формат і використовується для оперативного зберігання даних. Розмір оперативної пам'яті може варіюватися у різних чіпах від 64 Байт до 4 КБайт. Число циклів читання і запису в RAM не обмежена.

Периферія мікроконтролерів AVR включає: порти (від 3 до 48 ліній введення/виведення), підтримку зовнішніх переривань, таймери-лічильники, сторожовий таймер, аналогові компаратори, 10-розрядний 8-канальний АЦП, інтерфейси UART, JTAG і SPI, пристрій скидання зі зниження харчування, широтно-імпульсні модулятори.

Кожна лінія порту може бути запрограмована на вхід або на вихід. Потужні вихідні драйвери забезпечують струмову здатність навантаження 20 мА на лінію порту (втікаючий струм) при максимальному значенні 40 мА, що дозволяє, наприклад, безпосередньо підключати до мікроконтролеру світлодіоди і біполярні транзистори. Загальна струмова навантаженість на всі лінії одного порту не повинна перевищувати 80 мА (усі значення наведені для напруги живлення 5 В).

Враховуючи усі перераховані вище переваги мікроконтролерів AVR, саме на них будемо орієнтуватися при розробці засобу для створення світлового жизайну. Одним з основних критеріїв при виборі мікроконтролера є кількість ліній введення/виведення. Оскільки потрібна кількість ліній введення/виведення залежить від використовуваних компонентів та схемотехнічних рішень, вибір мікроконтролера можна здійснити лише після визначення функціональних зв'язків між усіма елементами розглядуваного

засобу.

Ще одним з основних елементів схеми є інтегральний регульований стабілізатор, на якому вирішено реалізовувати драйвери світлодіодів. Головним завданням стабілізатора - забезпечення необхідного значення струму світлодіодного джерела світла. Тому основним критеріями при виборі такого стабілізатора є максимально допустимий вихідний струм, який не повинен бути меншим за 1 А, наявність електронного керування вмиканням/вимиканням, мінімальна кількість потрібних зовнішніх радіоелементів, мала вартість та доступність на ринку. Зазначеним критеріям найбільше підходить інтегральний регульований стабілізатор LM317, оптимальний для побудови нескладних джерел струму та блоків живлення, як з регульованою напругою, так і із заданими напругою та струмом навантаження. Основні технічні характеристики стабілізатора LM317 [30]:

1. Вхідна напруга, В3...40;
2. Вихідна напруга, В1,25...37;
3. Опорна напруга, В1,25;
4. Мінімальний вихідний струм, мА3,5;
5. Максимальний вихідний струм, А.....2,2;
6. Струм регулювання, мкА50;
7. Максимальна розсіювана потужність, Вт20;

Керування інтегральним регульованим стабілізатором LM317, відповідно до функціональної схеми, здійснюється транзисторним підсилювачем, що працює в ключовому режимі. Оскільки струм регулювання LM317 є малим, основними критеріями при виборі транзистора є мінімальні розміри конструктивного виконання, мала вартість та доступність на ринку. Зазначеним критеріям задовольняє транзистор n-p-n-типу BC817-25 з такими основними характеристиками [31]:

1. Максимальний струм колектора, мА500;
2. Максимальна напруга колектор-база, В..... 50;

3. Максимальна напруга колектор-емітер, В..... 45;
4. Статичний коефіцієнт передачі струму бази..... не менше 160;
5. Гранична частота, МГц..... 200;
6. Корпус..... SOT-32.

Для підтримання інтерфейсу USB скористаємося мікросхемою FT232BM [32], яка являє собою перетворювач інтерфейсів USB/RS-232. Такий вибір обумовлений тим, що підтримка інших типів USB-пристроїв, наприклад, запам'ятовуючого на високому інтерфейсному рівні є доволі складним завданням. Мікросхема ж FT232BM та драйвер, що доступний разом з нею, самостійно забезпечують розпізнавання USB пристрою як COM-порта на комп'ютері. Таким чином, залишається лише організувати обмін даними через USB як через послідовний асинхронний канал RS-232, а це є набагато простішим завданням.

Як запам'ятовуючий пристрій для даних, що визначають відтворювані світлові ефекти будемо використовувати пам'ять з електричним старанням, реалізовану за технологією EEPROM. Основними критеріями при виборі типу елемента пам'яті є:

- об'єм;
- простота обміну інформацією;
- мінімальна кількість необхідних зовнішніх компонент для організації інтерфейсу;
- восьми бітна структура запам'ятовуючих комірок.

Оскільки кожний з 8-ми вихідних каналів пристрою для відтворення світлових ефектів може бути або включений або виключений, кожний такт світлового ефекту може бути описаний двома байтами. Прийmemo, що будь-який світловий ефект може складатися максимум з 40 тактів, а для світлового оформлення одного об'єкта достатньо 20 ефектів. Тоді мінімальний об'єм пам'яті складе $2 \cdot 40 \cdot 20 = 1600$ байт.

Для зменшення кількості ліній, що утворюють інтерфейс з пам'яттю,

треба вибирати мікросхему з послідовним інтерфейсом. Зазначеним критеріям задовольняє мікросхема послідовного EEPROM AT24C16A [32], об'ємом 16 кбіт = 2 кбайт.

Зовнішнім інтерфейсом елемента AT24C16A є дводротова асинхронна шина I²C, що містить дві сигнальні лінії, одна з яких (SCL) призначена для передачі тактового сигналу, друга (SDA) - для передачі даних. Для керування лініями використовуються вихідні каскади з відкритим колектором. Пристрої, що обмінюються даними через I²C поділяються на «Master» та «Slave». Пристрій «Master» генерує тактовий сигнал і є ініціатором обміну. Він може адресувати будь-який пристрій «Slave». Всі пристрої «Slave» приймають адрес і, розпізнаючи його як власний, виконують передбачувану операцію – читання або запис. Мікросхема AT24C16A конструктивно реалізована у восьмививідному корпусі.

Після того, як визначена реалізація усіх блоків структурної схеми, можна оцінити кількість ліній введення/виведення мікроконтролера, потрібну для організації інтерфейсів між цими блоками. Для керування вихідними каналами потрібно 9 ліній. Для прийому низькочастотного сигналу з мікрофона – ще одна. Для обміну даними з контролером USB – 2. Ще 2 лінії будуть використані для організації інтерфейсу мікросхеми пам'яті. Нарешті 6 ліній будуть потрібні для підключення кнопок, і ще 4 – для підключення індикаторних світлодіодів. Таким чином, потрібна кількість ліній введення/виведення мікроконтролера складає $9 + 1 + 2 + 2 + 6 + 4 = 24$. Іншими критеріями вибору мікроконтролера є наявність вбудованого асинхронного приймача/передавача для організації обміну даними між мікроконтролером та контролером USB, тактова частота не менша 16 МГц, малі габарити та доступність на ринку. Наведеним критеріям задовольняє мікроконтролер ATmega16. Основні характеристики ATmega16 [33]:

- а) високопродуктивний, малопотужний AVR 8-бітний мікроконтролер:
 - 1) 130 потужних команд, більшість з яких виконується за 1 такт;

- 2) 32x8 робочих регістра загального призначення;
- 3) продуктивність до 16 MIPS при синхронізації на 16 МГц;
- б) 16 КБайт внутрішньо програмованої Flash пам'яті програм ;
- в) 512 байт енергонезалежної пам'яті даних EEPROM;
- г) 1 кбайт оперативної пам'яті даних;
- д) периферійні властивості:
 - 1) 32 ліній введення/виведення;
 - 2) два 8-бітних таймери/лічильники з роздільними дільником частоти і режимом порівняння;
 - 3) один 16-бітний таймер/лічильник з роздільними дільником частоти, режимом порівняння та режимом захоплення;
 - 4) чотири канали широтно-імпульсного модулятора;
 - 5) 8-и канальний 10-ти бітний аналого-цифровий перетворювач;
 - 6) програмований послідовний UART;
 - 7) ведучий/відомий SPI послідовний інтерфейс;
 - 8) послідовний дводотовий інтерфейс I²C;
 - 9) програмований сторожовий таймер з роздільним внутрішнім осцилятором;
- е) спеціальні властивості мікроконтролера:
 - 1) скидання за вмиканням живлення;
 - 2) внутрішній калібрований RC осцилятор;
 - 3) зовнішні і внутрішні джерела переривань;
 - 4) чотири режими спання: очікування, зменшення шумів АЦП, енергозберігаючий, режим пониженого споживання потужності;
- ж) напруга живлення 2,7-5,5 В;
- з) швидкодія 0-16 МГц.

2.4.2 Розробка схеми електричної принципової

Запропонована схема електрична принципова засобу для створення світлового дизайну наведена у додатку Г. Головним елементом засобу є мікроконтролер DD3. Створення світлових ефектів відбувається за рахунок керування мікроконтролером яскравістю світлодіодних джерел через виводи PA0...PA7. Керування здійснюється за допомогою драйверів, що побудовані на інтегральних стабілізаторах DA3 ÷ DA10 та транзисторах VT1 ÷ VT8. Вмикання джерела, при якому забезпечується протікання струму у вихідному каналі пристрою, відбувається при закриванні транзистора, тобто при переведенні відповідної лінії PA0 ÷ PA7 мікроконтролера у стан логічного нуля, а вимикання – при відкриванні транзистора, тобто при переведенні потрібної із зазначених ліній у стан логічної одиниці.

Фізичне підключення світлодіодних джерел здійснює через роз'єм X4. Вихідний струм по кожному з каналів визначається виразом [25]:

$$I_{вих} = \frac{U_{оп}}{R} + I_p = \frac{1,25}{R}, \quad (2.15)$$

де $U_{оп}$ – опорна напруга регульованого інтегрального стабілізатора LM317 ($U_{оп} = 1,25$ В);

I_p – струм регулювання ($I_p = 50$ мА).

Відповідно до виразу (2.15) опори резисторів R26 ÷ R33, що визначають значення вихідного струму, будуть визначатися виразом:

$$R26 \div R33 = \frac{1,25}{I_{вих}}, \quad (2.16)$$

Оскільки значення вихідного струму залежить від типу

використовуваних світлодіодних джерел випромінювання, то опори резисторів R26 ÷ R33 будуть вибиратися відповідно до кожного конкретного випадку.

Резистори R18 ÷ R25 обмежують колекторні струми транзисторів VT1 ÷ VT8. Їх опір можна знайти за виразом:

$$R18 \div R25 = \frac{VCC - U_{KEH}}{I_k}, \quad (2.16)$$

де VCC – напруга живлення;

U_{KEH} – напруга колектор-емітер насичення транзистора;

I_k – колекторний струм транзистора.

Відповідно до характеристик стабілізатора LM317 значення напруги VCC може вибиратися в межах від 6,5 В до 40 В. Вибираємо напругу живлення рівною 24 В. Тоді:

$$R18 \div R25 = \frac{24 - 0,8}{29 \cdot 10^{-3}} = 1,16 \text{ (кОм)}.$$

Остаточні значення опорів резисторів R18 ÷ R25 вибираємо зі стандартного ряду рівним 1,2 кОм.

Значення опорів резисторів R10 ÷ R17, що обмежують базові струми транзисторів VT1 ÷ VT8, знайдемо за виразом:

$$R10 \div R17 = \frac{U_{вих}^1 - U_{бе}}{I_k} \cdot h_{21}, \quad (2.17)$$

де $U_{вих}^1$ – напруга логічної одиниці на виході мікроконтролера;

$U_{бе}$ – напруга база-емітер транзистора;

h_{21} – коефіцієнт підсилення струму бази транзистора в схемі із загальним

емітером.

$$R10 \div R17 = \frac{5 - 1,1}{20 \cdot 10^{-3}} \cdot 230 = 44,9 \text{ (кОм)}.$$

Остаточно значення опорів резисторів $R10 \div R17$ вибираємо зі стандартного ряду рівним 43 кОм.

За допомогою елемента DA2 напруга VCC перетворюється у напругу + 5 В, потрібну для живлення цифрових елементів схеми пристрою. В якості елемента DA1 доцільно використати той самий стабілізатор LM317, на якому реалізуються джерела струму DA3 ÷ DA10. Резистори R3 та R4 визначають значення напруги живлення схеми $E = +5\text{В}$ відповідно до виразу [25]:

$$E = U_{on} \cdot \left(1 + \frac{R3 + R4}{R4} \right) - 10. \quad (2.18)$$

Звідки:

$$\frac{R3 + R4}{R4} = \frac{E + 10}{U_{on}} - 1. \quad (2.19)$$

$$\frac{R3 + R4}{R4} = \frac{5 + 10}{1,25} - 1 = 11. \quad (2.20)$$

Вибираємо значення резистора R4 рівним 2 кОм. Тоді з виразу (2.20):

$$R3 = R4 \cdot (11 - 1) = 2 \cdot 10 = 20 \text{ (кОм)}.$$

Сценарії, за якими повинно відбуватися керування вихідними каналами зберігаються в енергонезалежній пам'яті даних DD1. Обмін даних з елементом DD1 здійснюється через дводротову синхронну шину I²C, яка фізично реалізується через виводи PC0 та PC1 мікроконтролера DD3. Вивід PC0 лінією SCL для передачі тактових імпульсів, а вивід PC1 – лінією SDA для передачі даних.

Інформація, що зберігається в DD1, формується користувачем на комп'ютері і передається у пристрій через USB шину. Прийомом даних та їх записом у пам'ять керує мікроконтролер. Надходження даних у мікроконтролер забезпечує елемент DD2, який являє собою перетворювач інтерфейсів USB/RS-232. Обмін даними між елементом DD2 та мікроконтролером DD3 здійснюється через виводи PD0 та PD1 мікроконтролера, альтернативною функцією яких є вхід та вихід, відповідно, вбудованого в мікроконтролер асинхронного приймач/передавача.

Використання перетворювача DD2 спрощує програмне забезпечення мікроконтролера, оскільки підтримку USB протоколів забезпечує сам перетворювач. Завдяки елементу DD2 обмін даними між комп'ютером та пристроєм на програмному рівні здійснюється через так званий «віртуальний СОМ-порт». Фізичне підключення пристрою для відтворення світлових ефектів до USB шини здійснюється через роз'єм X2.

Роз'єм X3 призначається для підключення мікрофону, що дозволить реалізувати відтворення світлових ефектів у такт музики. На операційному підсилювачі DA1 побудований активний фільтр низьких частот. Низькочастотні коливання, наростаючі фронти яких визначають момент зміни такту відтворюваного ефекту, надходять з виходу підсилювача на вивід PD2 порту D мікроконтролера, альтернативною функцією якого є вхід зовнішнього переривання.

Лінії PC2 ÷ PC7 порту C мікроконтролера використовуються для підключення кнопок SB1 ÷ SB6, за допомогою яких відбувається керування засобом для створення світлового дизайну. Як було визначено при розробці функціональної схеми за допомогою кнопок SB1 та SB2 вибирається світловий ефект для відтворення. Кнопка SB1 служить для перебору ефектів у порядку зростання, а кнопка SB2 – у порядку убутання. Кнопка SB3 призначається для вибору режиму одного з чотирьох режимів перемикання вихідних каналів: різке вмикання/вимикання, плавне вмикання/вимикання, плавне

вмикання/різке вимикання та різке вмикання/плавне вимикання. Кнопка SB4 використовується для перемикавання режимом автоматичного відтворення усіх записаних у пам'ять ефектів та режиму відтворення вибраного ефекту. У режимі автоматичного відтворення світлові ефекти відтворюються у випадковому порядку. Кнопки SB5 та SB6 забезпечують зміну швидкості відтворення ефектів. При натисканні на кнопку SB5 швидкість відтворення збільшується, а при натисканні на кнопку SB6 – зменшується.

Індикаторні світлодіоди HL1 ÷ HL4 використовуються для відображення режиму у якому перебуває засіб. Керування світлодіодами здійснюється через виводи PB0 ÷ PB3 мікроконтролера. Переведення світлодіодів в режим світіння відбувається при переведенні відповідної лінії у стан логічного нуля. Резистори R6 ÷ R9 обмежують прямий струм світлодіодів. Значення опорів цих резисторів знаходиться за виразом:

$$R6 \div R9 = \frac{U_{вих}^1 - U_{cd}}{I_{cd}}, \quad (2.21)$$

де U_{cd} – пряма напруга на світлодіоді;

I_{cd} – прямий струм світлодіода.

$$R6 \div R9 = \frac{5 - 1,8}{10 \cdot 10^{-3}} = 320 \text{ (Ом)}.$$

Остаточно значення опорів резисторів R6 ÷ R9 вибираємо зі стандартного ряду рівним 330 Ом.

Схема підключення світлодіодних джерел до розробленого засобу для створення світлового дизайну наведена у додатку Д.

Висновки до розділу

Найпоширенішим методом керування яскравістю є метод широтно-імпульсної модуляції. Головною проблемою такого керування є поява мерехтіння та східчаста зміна яскравості при низьких її рівнях, яким відповідає мала тривалість імпульсу і велика тривалість паузи. Традиційним способом усунення мерехтіння є збільшення частоти. Це з одного боку вимагає збільшення продуктивності апаратних засобів, а з іншого – звужує діапазон середніх значень яскравості. Усунути мерехтіння без суттєвого звуження діапазону середніх значень яскравості можна, якщо збільшувати частоту лише при малій яскравості.

Для отримання рівномірної шкали світло-кольорового керування треба враховувати психофізичне сприйняття дійсної яскравості людиною, яке описується законом Стивенса.

Запропонована функціональна побудова засобу для світлового дизайну дозволяє здійснювати керування світлодіодними джерелами світла по 8-ми незалежним каналам, загальною потужністю до 20 Вт у кожному з них. Сценарії керування можуть створюватися користувачем та відтворюватися в автоматичному режимі, у тому числі і у такт звуковому супроводу .

3 РОЗРОБКА АЛГОРИТМУ РОБОТИ ПРИСТРОЮ

3.1 Оцінювання кількісних параметрів процесу керування яскравістю

Як було вирішено у підрозділі 2.1 керування яскравістю світіння світлодіодних джерел у розроблюваному пристрої буде здійснюватися за допомогою широтно-імпульсної модуляції. При такому способі світіння джерел світла являє собою окремі спалахи регульованої тривалості. Для того, щоб ці спалахи сприймалися оком як безперервне світіння, їх частота повинна бути більшою за критичну частоту блімання для людського ока. Відповідно до цього, частоту модулюючого сигналу приймаємо рівною 100 Гц. Тоді тривалість періоду T у формулі (2.3), яка визначає яскравість світіння при широтно-імпульсній модуляції, буде дорівнювати $1/100 = 0,01 \text{ с} = 10 \text{ мс}$.

Для того щоб зміна яскравості світлодіодів відбувалася рівномірно, відносна зміна яскравості при ШІМ модуляції, повинна бути однаковою. Нехай відносна зміна яскравості дорівнює δ . Тоді, враховуючи що значення середньої яскравості при ШІМ модуляції описується виразом (2.1), зміна тривалості імпульсів при переході від одного рівня яскравості до іншого буде визначатися формулою:

$$\tau_{i+1} = \tau_i \cdot (1 + \delta) . \quad (3.1)$$

Відповідно до запропонованої у підрозділі 2.1 методики, тривалості імпульсів, що будуть визначати кожний з N рівнів яскравості, можуть бути знайдені за виразом (2.14). Звичайна людина здатна розрізнити біля 100 відтінків одного кольору [34], [35]. Тому кількість градацій яскравості N приймаємо рівною 100.

Результати розрахунку тривалостей імпульсів у програмі Mathcad представлені у таблиці 3.1. Лістинг програми, що була використана для розрахунку, наведений на рис. 3.1.

Таблиця 3.1 – Залежність яскравості світіння від тривалості імпульсу

τ , мс	L	τ , мс	L	τ , мс	L	τ , мс	L
0,0	0	1,026	0,25·L	2,214	0,50·L	4,778	0,75·L
0,490	0,01·L	1,058	0,26·L	2,283	0,51·L	4,928	0,76·L
0,505	0,02·L	1,091	0,27·L	2,354	0,52·L	5,082	0,77·L
0,521	0,03·L	1,125	0,28·L	2,428	0,53·L	5,240	0,78·L
0,538	0,04·L	1,160	0,29·L	2,504	0,54·L	5,404	0,79·L
0,554	0,05·L	1,196	0,30·L	2,582	0,55·L	5,573	0,80·L
0,572	0,06·L	1,234	0,31·L	2,663	0,56·L	5,747	0,81·L
0,590	0,07·L	1,272	0,32·L	2,746	0,57·L	5,927	0,82·L
0,608	0,08·L	1,312	0,33·L	2,832	0,58·L	6,112	0,83·L
0,627	0,09·L	1,353	0,34·L	2,920	0,59·L	6,303	0,84·L
0,647	0,10·L	1,395	0,35·L	3,012	0,60·L	6,500	0,85·L
0,667	0,11·L	1,439	0,36·L	3,106	0,61·L	6,703	0,86·L
0,688	0,12·L	1,484	0,37·L	3,203	0,62·L	6,912	0,87·L
0,709	0,13·L	1,530	0,38·L	3,303	0,63·L	7,128	0,88·L
0,731	0,14·L	1,578	0,39·L	3,406	0,64·L	7,351	0,89·L
0,754	0,15·L	1,628	0,40·L	3,513	0,65·L	7,581	0,90·L
0,778	0,16·L	1,678	0,41·L	6,622	0,66·L	7,818	0,91·L
0,802	0,17·L	1,731	0,42·L	3,736	0,67·L	8,062	0,92·L
0,827	0,18·L	1,785	0,43·L	3,852	0,68·L	8,314	0,93·L
0,853	0,19·L	1,841	0,44·L	3,973	0,69·L	8,574	0,94·L
0,880	0,20·L	1,898	0,45·L	4,097	0,70·L	8,842	0,95·L
0,907	0,21·L	1,958	0,46·L	4,225	0,71·L	9,118	0,96·L
0,935	0,22·L	2,019	0,47·L	4,357	0,72·L	9,403	0,97·L
0,965	0,23·L	2,082	0,48·L	4,493	0,73·L	9,697	0,98·L
0,995	0,24·L	2,147	0,49·L	4,633	0,74·L	10,000	0,99·L

У додатку Е представлені графічні залежності, що відображають результати моделювання зміни тривалості імпульсів при широтно-імпульсній модуляції відповідно до виразу (2.14), отримувану при цьому зміну яскравості,

що сприймається людським оком, що описується законом Стивенса (2.3), та зміну яскравості, що сприймається оком, при рівномірній зміні інтенсивності випромінювання світлодіода. Як видно з результатів моделювання, запропонований підхід до визначення тривалостей імпульсів для широтно-імпульсній модуляції, дозволяє отримати майже лінійну зміну яскравості, що сприймається людиною.

```

N := 100   T := 10
τ(τmax, n) :=
  δ ← 3 / (n - 1)
  tau ← τmax
  i ← n - 1
  while i ≥ 0
    τi ← tau
    tau ← tau · (1 - δ)
    i ← i - 1
  τ

```

Рисунок 3.1 – Лістинг програми для Mathcad для розрахунку тривалостей імпульсів

Як витікає з результатів розрахунку, що представлені у табл. 3.1, тривалість імпульсу повинна змінюватися з точністю до тисячних мс, тобто одиниць мкс. Оскільки в мікропроцесорних пристроях імпульси формуються за рахунок відліку часових інтервалів, це означає, що програмне забезпечення мікроконтролера повинно забезпечувати відлік часових інтервалів з точністю до одиниць мкс. Таким чином відтворення світлових ефектів буде засновуватися на відліку часових інтервалів кратних 1 мкс. Тактова частота мікроконтролера ATmega16, який був вибраний для побудови засобу для створення світлового дизайну складає 16 МГц, що забезпечує значення тривалості одного такту рівною $1/16 \cdot 10^6 = 0,0625$ мкс. Це означає, що

швидкодія мікроконтролера ATmega16 є цілком достатньою для досягнення потрібної точності у відліку часових інтервалів.

3.2 Розробка блок-схеми алгоритму роботи програми мікроконтролера

Робота засобу для створення світлового дизайну передбачає два режими: режим введення даних про алгоритми, за якими змінюються стани керованих світлодіодів, та режим формування світлових ефектів за вибраним алгоритмом.

У режимі введення даних мікроконтролер приймає данні з комп'ютера у послідовному асинхронному режимі та розміщує їх в енергонезалежній пам'яті. Можливий варіант розміщення даних у пам'яті може бути таким. Починаючи з нульового адреса розміщується заголовок, в якому записаний адрес останньої зайнятої комірки пам'яті. Далі знаходиться таблиця посилань на дані, які визначають послідовність вмикання/вимикання кожного каналу. Формат таблиці посилань зображений на рисунку 3.2.

Адрес2	Адрес3	Адрес4	Адрес5	Адрес6	
Кількість записаних алгоритмів	Посилання на данні, що визначають перший алгоритм		Посилання на данні, що визначають другий алгоритм		...
	Старший байт адреса	Молодший байт адреса	Старший байт адреса	Молодший байт адреса	

Рисунок 3.2 – Формат таблиці посилань

Розмір таблиці виберемо рівним 32 байти, що відповідає посиланням на $(32 - 1)/2 = 15$ ефектів. За таблицею посилань розміщуються данні, що описують світлові ефекти. Кожний ефект можна розглядати як такий, що

складається із сукупності тактів – часових інтервалів, протягом яких стан вихідних каналів залишається незмінним. Відповідно до цього дані, що описують світловий ефект, будуть розпочинатися з байта, який визначає кількість тактів у цьому ефекті.

Розглядуваний засіб має 8 вихідних каналів, по кожному з яких підтримується 100 рівнів градацій яскравості. Для кодування 100 рівнів яскравості потрібно 7 біт. З врахуванням цього значення яскравості будемо описувати одним байтом. Таким чином, для визначення стану вихідних каналів в одному такті потрібно 8 байт. Послідовність таких 8-ми байтових слів буде описувати стан каналів у різних тактах, виконання яких і забезпечить відтворення світлового ефекту.

Тривалість кожного такту визначає швидкість відтворення ефекту. Чим більша тривалість, тим менша швидкість, і навпаки. Критична частота мерехтіння для людського ока складає 50 Гц. Для того, щоб спостерігач міг розрізнити перемикання каналів при найбільшій швидкості відтворення ефекту, максимальну частоту зміни тактів приймемо рівною 25 Гц. Тоді мінімальна тривалість такту складе $1/25 = 0,04 \text{ с} = 40 \text{ мс}$. Максимальну тривалість такту, яка буде визначати найменшу швидкість відтворення ефекту, приймемо рівною 2 с. Таким чином регулювання швидкості відтворення світлових ефектів зводиться до зміни тривалості тактів від 40 мс до 2 с. Зміна швидкості буде відбуватися так, що за кожним натисканням на кнопки SB5 або SB6 тривалість такту буде зменшуватися, або збільшуватися, відповідно, у два рази.

Оскільки у розробленому засобі передбачена можливість зміни режиму перемикання вихідних каналів, треба забезпечити можливість керування яскравістю світіння джерел, підключених до виходів пристрою. В режимі різке вмикання/плавне вимикання яскравість протягом такту повинна плавно зменшитися від максимального значення до нуля. В режимі плавне вмикання/різке вимикання, навпаки, яскравість протягом такту повинна

плавно збільшитися від нуля до максимального значення. Нарешті, в режимі плавне вмикання/плавне вимикання яскравість повинна зрости від нуля до максимального значення за першу половину такту, після чого вона повинна зменшитися до нульового рівня за другу половину такту.

Відлік часових інтервалів тривалість 1 мкс, що відповідає мінімальному кроку при відтворенні різних рівнів яскравості, ефективно реалізувати за допомогою одного із вбудованих у мікроконтролер таймерів/лічильників. Тривалість періоду, яка була вибрана рівною 10 мс, при цьому буде складатися зі 10000 таких мінімальних інтервалів. Розроблений алгоритм, за яким функціонує розроблений пристрій для відтворення світлових ефектів, наведений у Додатку Ж.

Після вмикання живлення починається ініціалізація ресурсів мікроконтролера. Під час цієї ініціалізації настраюються напрямки передачі даних по лініях вводу/виводу, ініціалізується робота універсального таймера/лічильника, резервуються області даних у внутрішньому ОЗП. Завершується ініціалізація ресурсів ініціалізацією процесу відліку часових інтервалів – тактів, за якими і відбувається відтворення світлового ефекту.

Після ініціалізації ресурсів здійснюється ініціалізація кількості ефектів. Під час цієї ініціалізації визначається кількість блоків даних, які записані у зовнішню енергонезалежну пам'ять даних EEPROM та кожний з яких відповідає певному світловому ефекту. На завершення вибирається перший ефект та перший такт цього ефекту.

Після завершення ініціалізації кількості ефектів мікроконтролер переходить до виконання основного циклу програми. Основний цикл полягає в періодичному виконанні таких кроків:

1. Перевірка завершення такту; якщо такт не завершився перейти на крок 8;
2. Інкремент номера такту; якщо номер такту менший за кількість тактів, перейти на крок 7;

3. Якщо пристрій не працює в режимі автоматичного відтворення ефектів, перейти на крок 6;
4. Визначити номер наступного ефекту;
5. Ініціалізувати виконання ефекту;
6. Номеру тактів присвоїти 1;
7. Ініціалізувати виконання такту;
8. Перевірка стану кнопки SB5; якщо кнопка не натиснута, перейти на крок 9;
9. Зменшити тривалість такту у два рази; перейти на крок 12;
10. Перевірка стану кнопки SB6; якщо кнопка не натиснута, перейти на крок 12;
11. Збільшити тривалість такту у два рази;
12. Перевірка стану кнопки SB1; якщо кнопка не натиснута, перейти на крок 17;
13. Інкремент номеру ефекту; якщо номер ефекту більше кількості ефектів, номеру ефектів присвоїти 1;
14. Номеру тактів присвоїти 1;
15. Ініціалізувати виконання ефекту;
16. Ініціалізувати виконання такту;
17. Перевірка стану кнопки SB2; якщо кнопка не натиснута, перейти на крок 22;
18. Декремент номеру ефекту; якщо номер ефекту дорівнює нулю, номеру ефектів присвоїти кількість ефектів;
19. Номеру тактів присвоїти 1;
20. Ініціалізувати виконання ефекту;
21. Ініціалізувати виконання такту;
22. Перевірка стану кнопки SB3; якщо кнопка не натиснута, перейти на крок 24;
23. Перейти в режим автоматичного відтворення ефектів;

24. Перевірка стану кнопки SB4; якщо кнопка не натиснута, перейти на крок 1;

25. Змінити режим вмикання/вимикання каналів;

26. Перейти на крок 1.

Перевірка завершення такту здійснюється порівнянням кількості відтворених періодів та кількості періодів, що укладаються в такт. Остання може бути визначена як результат ділення тривалості такту на період такту (на 10 мс). Ініціалізація нового ефекту полягає у визначенні за номером ефекту за таблицею посилок адресу, з якого розміщуються данні, які описують цей ефект, та визначення кількості тактів у ефекті. Ініціалізація нового такту ефекту полягає у пересиланні чергового однобайтового слова з EEPROM на лінії PA0 ÷ PA7 мікроконтролера. Аналіз стану кнопок визначається за логічним рівнем сигналу на лінії PC2...PC7. Натиснутій кнопці відповідає логічне значення нуля, не натиснутій – одиниці.

Для більш ефективного використання ресурсів мікроконтролера прийом та передачу даних по послідовному асинхронному каналу краще виконувати за перериваннями. Так само, відлік часових інтервалів у 1 мкс ефективніше реалізувати за перериваннями по переповненню таймерів. Враховуючи усе викладене вище, приходимо до того, що програмне забезпечення пристрою для відтворення світлових ефектів буде складатися з основної програми та кількох підпрограм:

- підпрограми прийому даних з послідовного каналу;
- підпрограми передачі даних по послідовному каналу;
- підпрограми читання даних по I²C з EEPROM;
- підпрограми запису даних по I²C в EEPROM;
- підпрограми відліку часового інтервалу у 10 мкс;

Висновки до розділу

Запропонований алгоритм керування перемиканням каналів за рахунок розбиття сценарію відтворення ефекту на окремі такти, кратні 10 мс, відлік яких ведеться з використанням базового мінімального кроку тривалістю 1 мкс, дозволяє реалізувати керування яскравістю світлодіодних джерел по 8-ми незалежним каналам з використанням універсального 8-ми бітного мікроконтролера середньої обчислювальної потужності. Отримувана при цьому кількість градацій яскравості складає 100.

4. ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА

4.1 Оцінювання комерційного потенціалу нового виробу

Метою даного підрозділу магістерської кваліфікаційної роботи є проведення технологічного аудиту, в даному випадку оптико-електронної системи контролю деформацій, як результату науково-технічної діяльності.

Аналогів даної розробки багато. В якості найбільш близького аналога було обрано контролер світлових ефектів SR05R вартістю 1040 грн.

Задля проведення технологічного аудиту були залучені три незалежні експерти – провідні спеціалісти в області світлодіодної техніки та мікроконтролерних засобів керування. Оцінювання комерційного потенціалу пристрою здійснюється за дванадцятьма критеріями, у відповідності із табл. 4.1.

Таблиця 4.1 – Рекомендовані критерії оцінювання комерційного потенціалу розробки та їх можлива бальна оцінка

Бали (за 5-ти бальною шкалою)					
Кри-терій	0	1	2	3	4
1	2	3	4	5	6
Технічна здійсненність концепції					
1	Достовірність концепції не підтверджена	Концепція підтверджена експертними висновками	Концепція підтверджена розрахунками	Концепція перевірена на практиці	Перевірено працездатність продукту в реальних умовах
Ринкові переваги					
2	Багато аналогів на малому ринку	Мало аналогів на малому ринку	Кілька аналогів на великому ринку	Один аналог на великому ринку	Продукт не має аналогів на великому ринку

Продовження таблиці 4.1

1	2	3	4	5	6
3	Ціна продукту значно вища за ціни аналогів	Ціна продукту дещо вища за ціни аналогів	Ціна продукту приблизно дорівнює цінам аналогів	Ціна продукту дещо нижче за ціни аналогів	Ціна продукту значно нижче за ціни аналогів
4	Технічні та споживчі властивості продукту значно гірші, ніж в аналогів	Технічні та споживчі властивості продукту трохи гірші, ніж в аналогів	Технічні та споживчі властивості продукту на рівні аналогів	Технічні та споживчі властивості продукту трохи кращі, ніж в аналогів	Технічні та споживчі властивості продукту значно кращі, ніж в аналогів
5	Експлуатаційні витрати значно вищі, ніж в аналогів	Експлуатаційні витрати дещо вищі, ніж в аналогів	Експлуатаційні витрати на рівні експлуатаційних витрат аналогів	Експлуатаційні витрати трохи нижчі, ніж в аналогів	Експлуатаційні витрати значно нижчі, ніж в аналогів
Ринкові перспективи					
6	Ринок малий і не має позитивної динаміки	Ринок малий, але має позитивну динаміку	Середній ринок з позитивною динамікою	Великий стабільний ринок	Великий ринок з позитивною динамікою
7	Активна конкуренція великих компаній на ринку	Активна конкуренція	Помірна конкуренція	Незначна конкуренція	Конкуренція немає
Практична здійсненність					
8	Відсутні фахівці як з технічної, так і з комерційної реалізації ідеї	Необхідно наймати фахівців або витратити значні кошти та час на навчання наявних фахівців	Необхідне незначне навчання фахівців та збільшення їх штату	Необхідне незначне навчання фахівців	Є фахівці з питань як з технічної, так і з комерційної реалізації ідеї
9	Потрібні значні фінансові ресурси, які відсутні. Джерела фінансування ідеї відсутні	Потрібні незначні фінансові ресурси. Джерела фінансування відсутні	Потрібні значні фінансові ресурси. Джерела фінансування є	Потрібні незначні фінансові ресурси. Джерела фінансування є	Не потребує додаткового фінансування

Продовження таблиці 4.1

1	2	3	4	5	6
10	Необхідна розробка нових матеріалів	Потрібні матеріали, що використовуються у військово-промислому комплексі	Потрібні дорогі матеріали	Потрібні досяжні та дешеві матеріали	Всі матеріали для реалізації ідеї відомі та давно використовуються у виробництві
11	Термін реалізації ідеї більший за 10 років	Термін реалізації ідеї більший за 5 років. Термін окупності інвестицій більше 10-ти років	Термін реалізації ідеї від 3-х до 5-ти років. Термін окупності інвестицій більше 5-ти років	Термін реалізації ідеї менше 3-х років. Термін окупності інвестицій від 3-х до 5-ти років	Термін реалізації ідеї менше 3-х років. Термін окупності інвестицій менше 3-х років
12	Необхідна розробка регламентних документів та отримання великої кількості дозвільних документів на виробництво та реалізацію продукту	Необхідно отримання великої кількості дозвільних документів на виробництво та реалізацію продукту, що вимагає значних коштів та часу	Процедура отримання дозвільних документів для виробництва та реалізації продукту вимагає незначних коштів та часу	Необхідно тільки повідомлення відповідним органам про виробництво та реалізацію продукту	Відсутні будь-які регламентні обмеження на виробництво та реалізацію продукту

Результати оцінювання комерційного потенціалу розробки по кожному параметру заносимо у таблицю 4.2. За даними таблиці 4.2 можна зробити висновок щодо рівня комерційного потенціалу даної розробки. Для цього доцільно скористатись рекомендаціями, наведеними в таблиці 4.3.

Як видно з таблиці 4.3, рівень комерційного потенціалу розроблюваного нового виробу є високим.

Щодо каналів збуту продукції, то є два види каналу збуту: прямий (пов'язані з переміщенням товарів і послуг від виробників до споживачів без використання незалежних посередників) і непрямий (пов'язані з переміщенням товарів і послуг від виробника до незалежного учасника руху товарів, а потім

до споживача).

Таблиця 4.2 – Результати оцінювання комерційного потенціалу розробки

Критерії оцінювання	ПІБ експертів		
	Експерт 1	Експерт 2	Експерт 3
	Бали		
Технічна здійсненність концепції	3	3	4
Наявність аналогів на ринку	1	2	1
Цінова політика	3	3	3
Технічні та споживчі властивості виробу	3	4	4
Експлуатаційні витрати	3	4	3
Ринок збуту	5	4	5
Конкурентоспроможність	2	2	2
Фахівці з технічної і комерційної реалізації	4	5	5
Фінансування	4	4	4
Матеріально-технічна база	5	5	4
Термін реалізації ідеї	4	5	5
Супровідна документація	5	5	5
Сума	42	46	45
Середньоарифметична сума балів	$(42+46+45) / 3 = 44$		

Таблиця 4.3 - Рівні комерційного потенціалу розробки

Середньоарифметична сума балів СБ, розрахована на основі висновків експертів	Рівень комерційного потенціалу розробки
0 - 10	Низький
11-20	Нижче середнього
21 - 30	Середній
31 - 40	Вище середнього
41 - 48	Високий

З метою мінімізації витрат на розподіл інноваційної методики на ринку

обираємо прямий канал збуту – «виробник-споживач», що забезпечить економічну ефективність операцій продажу інноваційної розробки за рахунок уникнення залучення торговельних посередників, проміжних збутових ланок і різниця між ціною продажу розробки та її собівартістю дозволить покрити витрати на прямий збут. На початковому етапі збуту розповсюдження пристрою можна здійснити безпосередньо завдяки розміщенню рекламних оголошень в Internet.

Врахувавши цінову політику на ринку, а також конкуренцію можна зробити висновок, що постачати розробку необхідно за ціною яка буде на 20-30% нижче ринкової. Оплата може здійснюватись за допомогою банківських переказів, а також можливість оплати через мережу Internet. Кінцевими споживачами розроблюваного засобу є фізичні та юридичні особи, що займаються світловим дизайном та організацією світлового супроводу різноманітних шоу-програм

4.2 Розрахунок кошторису витрат на нову розробку

Основна заробітна плата розробників, які працюють над проектом визначається за формулою:

$$Z_0 = \frac{M}{T_p} \cdot t \text{ [грн.]}, \quad (4.1)$$

де M – місячний посадовий оклад розробника,

T_p – число робочих днів в місяці $T_p = 24$ дні,

t – число днів роботи розробника.

Над створенням розробки працювали керівник проекту та інженер, отже, виконаємо для них всі необхідні розрахунки:

$$Z_0 = \frac{9200}{24} \cdot 5 = 1916,67 \text{ (грн.)}$$

$$Z_0 = \frac{8800}{24} \cdot 32 = 11733,33 \text{ (грн.)}$$

Таблиця 4.4- Заробітна плата

Найменування посади	Місячний посадовий оклад, грн.	Оплата за робочий день, грн.	Число днів роботи	Витрати на заробітну плату, грн.
Керівник проекту	9200	383,33	5	1916,67
Інженер	8800	366,67	32	11733,33
Всього				13650,00

Витрати на основну заробітну плату робітників що виготовляють один виріб (Z_p) розраховуються за формулою:

$$Z_p = \sum_1^n t_i \cdot C_i \cdot K_c \text{ [грн.]}, \quad (4.2)$$

де n - число робіт за видами та розрядами;

t_i - норма часу (трудомісткість) на виконання роботи, годин;

K_c - коефіцієнт співвідношень, який установлений Генеральною тарифною угодою між урядом і профспілками, $K_c = 1$;

C_i - погодинна тарифна ставка робітника відповідного розряду, який виконує дану роботу

$$C_i = \frac{M_m \cdot K_i}{T_p \cdot T_{zm}} \text{ [грн./год.]}, \quad (4.3)$$

де: M_m - мінімальна місячна оплата праці, у 2019 році $M_m = 4173$ грн.;

K_i - тарифний коефіцієнт робітника відповідного розряду.

T_p - число робочих днів в місяці; приблизно $T_p = 24$ дні;

Тзм - тривалість зміни, зазвичай Тзм = 8 годин.

Погодинна тарифна ставка згідно чинного законодавства у 2019 році = 25,13 грн./год. Розрахунки зводимо до таблиці 4.5.

Таблиця 4.5 - Величина витрат на основну заробітну плату робітників

Найменування робіт	Трудоміст- кість, нормо- годин	Розряд роботи/ тариф. коэф	Погодинна тарифна ставка, грн.	Величина оплати, грн.
1.Заготівельні	2	2/1,1	25,13	50,26
2. Фрезерувальні	1	3/1,35	42,721	42,72
3. Монтажні	4	4/1,5	37,695	150,78
4. Випробувальні	2	4/1,5	37,695	75,39
5. Контроль	1	6/2,0	50,26	50,26
Всього				369,41

Додаткова заробітна плата З_{дод} всіх розробників та робітників, які приймали участь в розробці нового технічного рішення розраховується як відсоток від основної заробітної плати робітників.

$$Z_{\text{дод}} = H_{\text{дод}} \cdot Z_p \text{ [грн.]}, \quad (4.4)$$

де $H_{\text{дод}}$ - норма нарахування додаткової заробітної плати, $H_{\text{дод}} = 14\%$.

$$Z_{\text{дод}} = (13650,00 + 369,41) \cdot 0,1 = 1401,94 \text{ (грн.)}.$$

Згідно діючого законодавства нарахування на заробітну плату складають 22% від суми основної та додаткової заробітної плати.

$$Z_n = H\% \cdot (Z_0 + Z_d) [\text{грн.}], \quad (4.5)$$

де $H\%$ - процент нарахування на заробітну плату

$$Z_n = (13650,00 + 369,41 + 1401,94) \cdot 0,22 = 3392,70 \text{ (грн.)}$$

Амортизація обладнання, що використовувалось для розробки в спрощеному вигляді розраховується за формулою:

$$A = \frac{Ц}{T_e} \cdot \frac{t_{\text{вих}}}{12} [\text{грн.}], \quad (4.6)$$

де $Ц$ – балансова вартість обладнання, грн.;

T – термін корисного використання обладнання згідно податкового законодавства, років;

$t_{\text{вик}}$ – термін використання під час розробки, місяців.

Розрахуємо, для прикладу, амортизаційні витрати на комп'ютер балансова вартість якого становить 9000 грн., термін його корисного використання згідно податкового законодавства – 2 роки, а термін його фактичного використання – 1,33 міс:

$$A = \frac{9000}{2} \cdot \frac{1,33}{12} = 500 \text{ (грн)}$$

Аналогічно визначаємо амортизаційні витрати на інше обладнання та приміщення. Розрахунки заносимо до таблиці 4.6. Для розрахунку амортизації нематеріальних ресурсів використовується формула:

$$A_{н.р.} = C_{н.р.} \cdot \frac{t_{вих}}{12} \cdot H_a \text{ [грн.]}, \quad (4.7)$$

де H_a – норма амортизації; прийємо $H_a = 13 \%$;

Таблиця 4.6 – Амортизаційні відрахування матеріальних і нематеріальних ресурсів для розробників

Найменування обладнання	Балансова ціна, грн.	Строк корисного використання, років	Термін використання, міс.	Величина амортизаційних відрахувань, грн.
Комп'ютер	9000	2	1,33	500,00
Спеціалізоване обладнання (фрезерний верстат Прохон MF 70 - 9800 грн., паяльна станція ВАКУ ВК878L - 1300 грн.)	10900	5	0,036	6,62
Приміщення	280000	20	133	1616,32
Нематеріальні ресурси	4500	-	1,33	65,00
Всього				2187,94

Витрати на матеріали визначаються за формулою:

$$M = \sum_{i=1}^n H_i \cdot C_i \cdot K_i - \sum_{i=1}^n B_i \cdot C_B \text{ [грн]}, \quad (4.8)$$

де H_i - витрати матеріалу i -го найменування, кг;

C_i - вартість матеріалу i -го найменування, грн/кг;

K_i - коефіцієнт транспортних витрат, $K_i = 1,1 \dots 1,15$;

B_i - маса відходів i -го найменування, кг;

C_B - ціна відходів i -го найменування, грн/кг;

n - кількість видів матеріалів.

Витрати на матеріали з врахуванням транспортних витрат становлять:

$$M = 38,88 \cdot 1,1 - 4,55 = 38,22 \text{ (грн).}$$

Таблиця 4.7 – Матеріали, які використовуються для виготовлення одного пристрою, та їх вартість

Найменування матеріалу	Ціна за грн./кг	Витрачено, кг	Величина відходів, кг	Вартість витраченого матеріалу, грн	Величина відходів, грн.
Припій ПОС-61	92,00	0,10	0,00	9,2	0,00
Флюс	140,00	0,02	0,001	2,8	0,14
Дріт монтажний	10,80	0,10	0,01	1,08	0,11
Пластмаса	86,00	0,30	0,05	25,8	4,3
Всього				38,88	4,55

Витрати на комплектуючі, що були використані на виготовлення розробки, розраховується за формулою

$$K = \sum_1^n H_i \times C_i \times K_i \text{ [грн]}, \quad (4.9)$$

де H_i – кількість комплектуючих i -го виду, шт;

C_i – роздрібна ціна комплектуючих i -го виду, грн.;

K_i - коефіцієнт транспортних витрат, $K_i = 1,1$;

n - кількість видів комплектуючих.

Проведені розрахунки зводимо до таблиці 4.8.

Витрати на комплектуючі з врахуванням транспортних витрат становлять:

$$K = 434,1 \cdot 1,1 = 477,51 \text{ (грн.)}$$

Таблиця 4.8 – Витрати на комплектуючі

Назва елемента	Кількість	Ціна, грн..	Вартість, грн..
Мікроконтролер ATmega16	1	63,5	63,5
Інтегральний стабілізатор LM317	9	9,25	83,25
Контролер FT232BM	1	89,5	89,25
Операційний підсилювач AD711	1	81,50	81,50
Мікросхема пам'яті AT24C16A	1	6,50	6,50
Кнопка B3F-1060	6	7,75	46,50
Конденсатор 0805	6	1,00	6,00
Конденсатор ECR	2	4,80	9,60
Резистори 0805	33	1,00	33,00
Роз'єм NS25-W2K	2	0,75	1,50
Роз'єм NXW-04K	1	1,00	1,00
Роз'єм NXW-08K	1	1,50	1,50
Світлодіод L-132XGD	4	1,25	5,00
Транзистор BC817-16	8	0,75	6,00
Всього			434,1

Витрати на силову електроенергію розраховуються за формулою:

$$Ve = V \cdot P \cdot \Phi \cdot Kn \quad [\text{грн.}], \quad (4.10)$$

де V - вартість 1 кВт-години електроенергії, 8,44 грн

P - установлена потужність обладнання, кВт, 0,7 кВт

Φ - фактична кількість годин роботи обладнання, $32 \cdot 8$ годин;

K_p - коефіцієнт використання потужності 0,8;

$$B_e = 0,7 \cdot 0,8 \cdot 32 \cdot 8 \cdot 8,44 = 1209,96 \text{ (грн.)}$$

Інші витрати охоплюють: загально виробничі витрати, адміністративні витрати, витрати на збут тощо. Інші витрати доцільно приймати як 200...300% від суми основної заробітної плати розробників та робітників.

Величина інших витрат складе:

$$B_{in} = (13650,00 + 369,41) \cdot 2 = 28038,82 \text{ (грн.)}$$

Сума всіх попередніх витрат дає загальні витрати на нову розробку:

$$B = 13650,00 + 369,41 + 1401,94 + 3392,70 + 2187,94 + 37,76 + 477,51 + \\ + 1209,96 + 28038,82 = 50766,04 \text{ (грн.)}$$

Розрахуємо загальні витрати на виконання МКР. Загальна вартість усієї МКР визначається виразом:

$$B_{заг} = \frac{B}{\alpha} \text{ [грн.]}, \quad (4.11)$$

де α - частка витрат, які безпосередньо здійснює виконавець даної МКР, у відносних одиницях; $\eta = 1,0$.

$$B_{заг} = \frac{50766,04}{1,0} = 50766,04 \text{ (грн.)}$$

Спрогнозуємо загальні витрати на виконання та впровадження результатів МКР. Прогнозування загальних витрат ЗВ на виконання та впровадження результатів виконаної МКР здійснюється за формулою:

$$ЗВ = \frac{B_{заг}}{\beta} \text{ [грн.]}, \quad (4.12)$$

де β - коефіцієнт, який характеризує етап (стадію) виконання даної; $\beta = 0,1 \dots 0,9$. Оберемо $\beta = 0,5$, оскільки розробка на теперішній час знаходиться на стадії створення дослідного зразка.

$$ЗВ = \frac{50766,04}{0,5} = 101532,08 \text{ (грн.)}.$$

4.3 Прогнозування комерційних ефектів від реалізації результатів розробки

У даному підрозділі кількісно спрогнозуємо, яку вигоду можна отримати у майбутньому від впровадження результатів виконаної наукової роботи. Розрахуємо збільшення чистого прибутку підприємства $\Delta\Pi_i$, для кожного із років, протягом яких очікується отримання позитивних результатів від впровадження розробки, за формулою:

$$\Delta\Pi_i = \sum_1^n (\Delta C_o \cdot N + C_o \cdot \Delta N)_i \cdot \lambda \cdot \rho \cdot \left(1 - \frac{v}{100}\right), \quad (4.13)$$

де N – основний кількісний показник, який визначає діяльність підприємства у даному році до впровадження результатів наукової розробки;

ΔN - покращення основного кількісного показника діяльності підприємства від впровадження результатів розробки;

C_o - основний оціночний показник, який визначає діяльність підприємства у даному році після впровадження результатів наукової розробки;

n - кількість років, протягом яких очікується отримання позитивних результатів від впровадження розробки;

λ - коефіцієнт, який враховує сплату податку на додану вартість; ставка податку на додану вартість дорівнює 20%, а коефіцієнт $\lambda = 0,8333$;

p - коефіцієнт, який враховує рентабельність продукту, $p = 0,15$;

v - ставка податку на прибуток. У 2019 році — 18%

Припустимо, що при прогнозованій ціні 2900 грн. за одиницю виробу, термін збільшення прибутку складе 3 роки. Після завершення розробки і її вдосконалення, можна буде підняти його ціну на 100 грн. Кількість одиниць реалізованої продукції також збільшиться: протягом першого року — на 100 шт., протягом другого року — на 200 шт., протягом третього року на 400 шт. До моменту впровадження результатів наукової розробки реалізації продукту не було:

$$\Delta\Pi_1 = (0 \cdot 500 + (2900 + 100) \cdot 100) \cdot 0,8333 \cdot 0,15 \cdot (1 - 0,18) = 30748,77 \text{ (грн.)}$$

$$\Delta\Pi_2 = (0 \cdot 500 + (2900 + 100) \cdot (100 + 200)) \cdot 0,8333 \cdot 0,15 \cdot (1 - 0,18) = 92246,31 \text{ (грн.)}$$

$$\Delta\Pi_3 = (0 \cdot 500 + (2900 + 100) \cdot (100 + 200 + 400)) \cdot 0,8333 \cdot 0,15 \cdot (1 - 0,18) = 215241,39 \text{ (грн.)}$$

Отже, комерційний ефект від реалізації результатів розробки за три роки складе:

$$\Delta\Pi_{\Sigma} = 30748,77 + 92246,31 + 215241,39 = 338236,47 \text{ (грн.)}$$

4.4 Розрахунок ефективності вкладених інвестицій та періоду їх окупності

Теперішня вартість інвестицій PV, що вкладається в наукову розробку можна вважати прогнозовану величину загальних витрат ЗВ на виконання та

впровадження результатів МКР, розраховану раніше за формулою (4.12), тобто будемо вважати, що $ЗВ = PV = 101532,08$ грн.

Очікуване збільшення прибутку – додатковий прибуток ДП, що його отримає науковець-розробник від впровадження результатів наукової розробки, для кожного із років, починаючи з першого року впровадження. Таке збільшення прибутку також було розраховане нами раніше за формулою (4.13). Розрахуємо абсолютну ефективність вкладених інвестицій $E_{\text{абс}}$ згідно наступної формули:

$$E = (ПП - PV), \quad (4.14)$$

де $ПП$ – приведена вартість всіх чистих прибутків, що їх отримає підприємство від реалізації результатів наукової розробки, грн;

PV – теперішня вартість інвестицій, $PV = ЗВ$;

В свою чергу, приведена вартість всіх чистих прибутків розраховується:

$$ПП = \sum_1^T \frac{\Delta\Pi_i}{(1 + \tau)^t}, \quad (4.15)$$

τ – норма дисконту, величина якої залежить від рівня ризику, рівня банківської ставки по вкладам, рівня інфляції, $\tau = 0,1$;

T – термін протягом якого продукція реалізовується на ринку, років;

t – відповідний рік функціонування проекту, в якому очікується прибуток, грн.

Збільшення прибутку ми отримаємо починаючи з першого року:

$$\begin{aligned} ПП &= (30748,77 / (1+0,1)^1) + (92246,31 / (1+0,1)^2) + (215241,39 / (1+0,1)^3) = \\ &= 27953,43 + 76236,62 + 161714,04 = 265904,09 \text{ (грн.)}. \end{aligned}$$

Так як період часу розробки інноваційного продукту є відносно

незначним і складає 32 дні, то, для спрощення розрахунків ним можна знехтувати, і тому життєвий цикл наукової розробки буде дорівнювати періоду отримання прибутків. Вісь часу, що характеризує рух платежів буде мати вигляд, представлений на рис. 4.1.

Тоді, чистий приведений дохід дорівнює:

$$E = 265904,09 - 101532,08 = 164372,01 \text{ (грн.)}.$$

Оскільки $E > 0$, то вкладання коштів на виконання та впровадження результатів даної МКР може бути доцільним.



Рисунок 4.1 – Вісь часу з фіксацією платежів, що мають місце під час розробки та впровадження результатів НДДКР

Розрахуємо відносно (щорічну) ефективність вкладених в наукову розробку інвестицій E_e . Для цього використаємо формулу:

$$E_e = \sqrt[t]{1 + \frac{E}{PV}} - 1, \quad (4.16)$$

$$E_6 = \sqrt[3]{1 + \frac{164372,01}{101532,08}} - 1 = 0,38.$$

Визначимо мінімальну ставку дисконтування, яка у загальному вигляді визначається за формулою:

$$\tau = d + f, \quad (4.17)$$

де d – середньозважена ставка за депозитними операціями в комерційних банках; в 2019 році в Україні $d = (0,14 \dots 0,2)$;

f – показник, що характеризує ризикованість вкладень; зазвичай, величина $f = (0,05 \dots 0,1)$.

$$\tau_{\min} = 0,14 + 0,05 = 0,19.$$

Оскільки $E_6 > \tau_{\min}$, то інвестор може бути зацікавлений у фінансуванні даної наукової розробки.

Розрахуємо термін окупності вкладених у реалізацію наукового проекту інвестицій за формулою:

$$T_{ок} = \frac{1}{E_6}, \quad (4.18)$$

$$T_{ок} = 1 / 0,38 = 2,63 \text{ р.}$$

Оскільки $T_{ок} < 3$ -х років, а саме термін окупності рівний 2,63 роки, то фінансування даної наукової розробки є доцільним.

Висновки до розділу

Для підвищення комерційного потенціалу розробки необхідно забезпечити її меншу вартість за порівнянням з аналогами та реалізувати прямий канал збуту, використовуючи на початковому етапі рекламні оголошення в Internet.

Загальні витрати на розробку та виготовлення засобу для створення світлового дизайну складуть 101532,08 грн. Прогнозований комерційний ефект від реалізації результатів розробки за три роки складе 338236,47 грн, а чистий приведений дохід – 164372,01 грн. У результаті термін окупності витрат на розробку та впровадження результатів МКР становить 2,63 роки, що підтверджує доцільність фінансування нової розробки.

ВИСНОВКИ

1. Однією з основних вимог до сучасних засобів для світлового дизайну є підтримка динамічного управління яскравістю джерела світла за заданими сценаріями. Засоби, що забезпечують високу якість та широкі можливості такого управління, мають високу ціну та є достатньо вузько спеціалізованими. Більш універсальні пристрої є доступними за ціною, проте мають досить обмежені функціональні можливості та не забезпечують належного рівня якості керування яскравісними характеристиками світлових потоків.

2. Найпоширенішим методом керування яскравістю є метод широтно-імпульсної модуляції, головним недоліком якого є поява мерехтіння та східчаста зміна яскравості при низьких її рівнях. Традиційним способом усунення мерехтіння є збільшення частоти, що вимагає збільшення продуктивності апаратних засобів та звужує діапазон середніх значень яскравості. Усунути мерехтіння без суттєвого звуження діапазону середніх значень яскравості можна, якщо збільшувати частоту лише при малій яскравості.

3. Для отримання рівномірної шкали світло-кольорового керування треба враховувати психофізичне сприйняття дійсної яскравості людиною, яке описується законом Стивенса.

4. Запропонована функціональна побудова засобу для світлового дизайну дозволяє здійснювати керування світлодіодними джерелами світла по 8-ми незалежним каналам з відтворенням до 100 градацій яскравості по кожному з них. Кількість джерел, що можуть бути підключені до кожного з каналів, обмежується лише їх загальною потужністю, яка не повинна перевищувати 20 Вт. Сценарії керування можуть створюватися користувачем та відтворюватися в автоматичному режимі, у тому числі і у такт звуковому супроводу.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ

1. Что такое световой дизайн? [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://svet-otvet.ru/что-такое-световой-дизайн/>. - Назва з екрана.
2. Бауэн Н. Игры со светом в 3ds max. Освещение и световые эффекты / Н. Бауэн. – М.: НТ Пресс, 2007. – 432 с.
3. Новиков А, Инновации в светодизайне городской среды / А. Новиков, Л. Сидоренко // Материалы Международной научно-практической конференции. – Алмаы: КазНТУ, 2014. – Т. IV. – С. 427 – 430.
4. Трофимов Ю.Б. Полупроводниковые светодиоды – новые сферы применения и тенденции развития рынка // Электронные компоненты. – 2003, №3. – С. 31 – 35.
5. Светодиодные технологии освещения в современном дизайне. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.incore.me/tehnologii/svetodiodnye-tehnologii-osveshhenie-v-sovremennom-dizajne/>. - Назва з екрана.
6. Введение в тонкости сценического освещения. Виды световых приборов. [Электронный ресурс]. Режим доступа: http://www.muzbar.ru/articles/Vvedenie_v_tonkosti_schenicheskogo_osvescheniya_1__Vidy_svetovyh_priborov/. - Назва з екрана.
7. Как не ошибиться с выбором световых эффектов. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.muztorg.ru/novosti/10624/>. - Назва з екрана.
8. DMX контроллеры и декодеры RGB. [Электронный ресурс]. <https://tdmegaprom.ru/subgroup/dmx-kontrollery-i-dekodery-rgb.html>. - Назва з екрана.
9. Свет по заказу: системы управления светодиодным освещением [Электронный ресурс]. <https://www.compel.ru/lib/53646>. - Назва з екрана.
10. Световые процессоры серии LP-8000. [Электронный ресурс]. Режим доступа: http://ant.od.ua/prod3_1.htm. - Назва з екрана.

11. RGB Контроллер однозональный с радиоуправлением 18А с пультом LT-3800-3А. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://led-stars.prom.ua/p91234290-rgb-kontroller-odnozonalnyj.html>. - Назва з екрана.
12. Контроллеры SR05R. [Электронный ресурс]. Режим доступа <http://www.lightinbox.com.ua/rgb-kontrollery/sr05r>. - Назва з екрана.
13. Трофимов Ю.Б. Светодиодная элементная база – некоторые особенности и проблемы применения в дисплейных технологиях // Электронные компоненты. – 2002, №1. – С. 29 – 35.
14. Кожем'яко В.П., Павлов С.В., Тарновський М.Г. Оптоелектронна схемотехніка. Навчальний посібник. – Вінниця: УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2008. - 189 с.
15. Широтно-импульсная модуляция (ШИМ). [Электронный ресурс]. Режим доступа <https://ledjournal.info/spravochnik/shirotno-impulsnaya-modulyaciya.html>. - Назва з екрана.
16. Регулирование яркости светодиодов. [Электронный ресурс]. Режим доступа <http://elektrik.info/main/praktika/824-regulirovanie-yarkosti-svetodiodov.html>. - Назва з екрана.
17. Каким должно быть Управление светом? [Электронный ресурс]. <https://lightru.pro/kakim-dolzno-byt-upravlenie-svetom/>. - Назва з екрана.
18. Шиэн Грег Факты о регулировании яркости. Регулировка яркости: будущее и настоящее / Грег Шиэн // Полупроводниковая светотехника. – 2011, №2. – С. 65 – 70.
19. Явна, Д.В. Сенсорные и перцептивные процессы: учеб. пособие / И.В. Куприянов, М.В. Буняева, ред.: В.В. Бабенко, Южный федеральный ун-т, Д.В. Явна. – Ростов н/Д. : Изд-во ЮФУ, 2016. — 140 с.
20. Пуцято Л. М. Психология сенсорных процессов: Учеб. пособие / Л. М. Пуцято. -Гродно: ГрГУ, 2001. - 80 с.
21. Гук М. Интерфейсы ПК: Справочник. – СПб: Питер, 1999. – 416 с.

22. Кривченко И. Перспективные микроконтроллеры AVR компании Atmel / И. Кривченко, А. Рыжаков // Компоненты и технологии. – № 5. – '2015. – С. 61 – 66.
23. Шишков А.Н. Микроконтроллеры. [Электронный ресурс]. <http://frela-mk.narod.ru/olderfiles/1/Mikrokontrollery.pdf>. - Назва з екрана.
24. Сердюков О.В. Выбор микроконтроллера / О.В. Сердюков, Ю. Н. Мухин // Электронные компоненты. – 2002. - №5. – С.39-42.
25. LM117/LM317A/LM317-N Three-Terminal Adjustable Regulator [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.ti.com/lit/ds/symlink/lm117.pdf>. - Назва з екрана.
26. П. Хоровиц, У. Хилл. Искусство схемотехники. Том 1. _ М.: Мир, 1988. – 598 с.
27. Фильтры нижних частот. [Электронный ресурс]. Режим доступа <http://analogiu.ru/6/6-5-2-1.html> - Назва з екрана.
28. Гребнев В.В. Микроконтроллеры AVR фирмы Atmel. – М.: ИП РадиоСофт, 2002. – 176 с.
29. Евстифеев А.В. Микроконтроллеры AVR семейства фирмы Tiny и Mega фирмы Atmel. – М.: Издательский дом «Додэка-XXI», 2004. – 560 с.
30. LM117/LM317A/LM317-N Three-Terminal Adjustable Regulator [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.ti.com/lit/ds/symlink/lm117.pdf>. - Назва з екрана.
31. BC817-40W. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.onsemi.com/pub/Collateral/BC817-40W-D.PDF> - Назва з екрана.
32. FT232R USB UART I.C. [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://www.sparkfun.com/datasheets/IC/FT232R_v104.pdf - Назва з екрана.
33. 2-wire Serial EEPROM . [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://www.sparkfun.com/datasheets/IC/FT232R_v104.pdf - Назва з екрана.
34. Адам Хадхази Каковы пределы человеческого зрения? [Электронный ресурс]. Режим доступа:

https://www.bbc.com/russian/science/2015/08/150804_vert_fut_limits_of_human_vision. - Назва з екрана.

35. Сколько цветов различает глаз человека? [Электронный ресурс].
Режим доступа: <https://magazinlinz.ru/skolko-cvetov-razlichaet-glaz-cheloveka.htm>. - Назва з екрана.

ДОДАТКИ

ДОДАТОК А

(обов'язковий)

Вінницький національний технічний університет
Факультет комп'ютерних систем і автоматики
Кафедра лазерної та оптикоелектронної техніки

ЗАТВЕРДЖУЮ

Зав. кафедри лазерної та
оптикоелектронної техніки
д.т.н., проф..

_____ Н.І. Заболотна

“ ____ ” _____ 2019 р.

ТЕХНІЧНЕ ЗАВДАННЯ

на виконання магістерської кваліфікаційної роботи

Засіб для створення світлового дизайну

08-04 МКР.010.00.000.ТЗ

спеціальність 152 – «Метрологія та інформаційно-вимірювальна техніка»
освітня програма «Лазерна техніка та оптоінформатика»

Науковий керівник: к.т.н., доц. каф. ЛОТ

_____ Гарновський М.Г.

(прізвище та ініціали)

Виконавець: студент 2 курсу, групи ЛТО-18м
напряму підготовки

_____ 152 Метрологія та інформаційно-

(шифр і назва напряму підготовки, спеціальності)

вимірювальна техніка

_____ Гуцало В. О.

(прізвище та ініціали)

Вінниця, 2019 р.

1. Підстава для виконання магістерської кваліфікаційної роботи (МКР)

Робота виконується на підставі наказу ректора ВНТУ № ____ від “___” _____ 2019 р. та індивідуального завдання на МКР.

2. Мета та призначення МКР

Метою МКР є покращення функціональних характеристик та розширення функціональних можливостей засобів для створення світлового дизайну з використанням світлодіодних джерел випромінювання..

Призначення розробки – виконання магістерської кваліфікаційної роботи.

3. Вихідні дані для виконання МКР

Склад системи:

- мікроконтролерний блок;
- драйвер світлодіодів;
- запам'ятовуючий пристрій;
- фільтр низьких частот;
- 6 кнопок керування;

Характеристики системи:

- кількість каналів керування – 8;
- максимальна електрична потужність керування у каналі – до 20 Вт;
- метод керування яскравістю - ШІМ;
- кількість відтворюваних градацій яскравості – 100;
- режими відтворення ефектів – ручний, автоматичний одиночний, автоматичний циклічний, автоматичний у такт звуковому супроводу.

4. Вимоги до виконання МКР

- провести техніко-економічне обґрунтування доцільності розробки;
- обґрунтувати вибір методу керування яскравістю світіння;
- визначити побудову засобу для створення світлового дизайну на структурному та функціональному рівні;
- розробити блок-схему алгоритму роботи засобу для світлового дизайну
- оцінити комерційний потенціал розробки.

5. Джерела розробки

1. Кожем'яко В.П., Павлов С.В., Тарновський М.Г. Оптоелектронна схемотехніка. Навчальний посібник. – Вінниця: УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2008. - 189 с.

2. Трофимов Ю.Б. Полупроводниковые светодиоды – новые сферы применения и тенденции развития рынка // Электронные компоненты. – 2003, №3. – С. 31 – 35..

3. Шиэн Грег Факты о регулировании яркости. Регулировка яркости: будущее и настоящее / Грег Шиэн // Полупроводниковая светотехника. – 2011, №2. – С. 65 – 70.

4. Шишков А.Н. Микроконтроллеры. [Электронный ресурс]. <http://frela-mk.narod.ru/olderfiles/1/Mikrokontrollery.pdf>. - Назва з екрана.

6. Етапи МКР та очікувані результати

№ пп	Назва етапу	Термін виконання		Очікувані результати
		початок	кінець	
1	Техніко-економічне обґрунтування			Аналітичний огляд літературних джерел, задачі дослідження, розділ 1 ПЗ
2	Обґрунтування методу керування інтенсивністю випромінювання світлового джерела світла			П. 2.1 розділу 2 ПЗ
3	Визначення структурної побудови засобу			П. 2.2 розділу 2 ПЗ
4	Визначення функціональної побудови засобу			П. 2.3 розділу 2 ПЗ
5	Розробка схеми електричної принципової			П. 2.4 розділу 2 ПЗ
6	Розробка алгоритму роботи пристрою			Розділ 3 ПЗ
7	Розрахунок економічних показників			Розділ 4 ПЗ
8	Оформлення пояснювальної записки та презентації			Пояснювальна записка, презентація

7. Матеріали, що виносяться до захисту МКР

Пояснювальна записка МКР, графічні та ілюстративні матеріали, протокол попереднього захисту МКР на кафедрі, відгук наукового керівника, анотації до МКР українською та англійською мовами.

8. Порядок контролю виконання та захисту МКР

Виконання етапів, оформлення графічної та розрахункової документації МКР контролюється науковим керівником згідно зі встановленими термінами. Захист МКР відбувається на засіданні Державної екзаменаційної комісії (ДЕК), затвердженої наказом ректора.

9. Вимоги до оформлення МКР

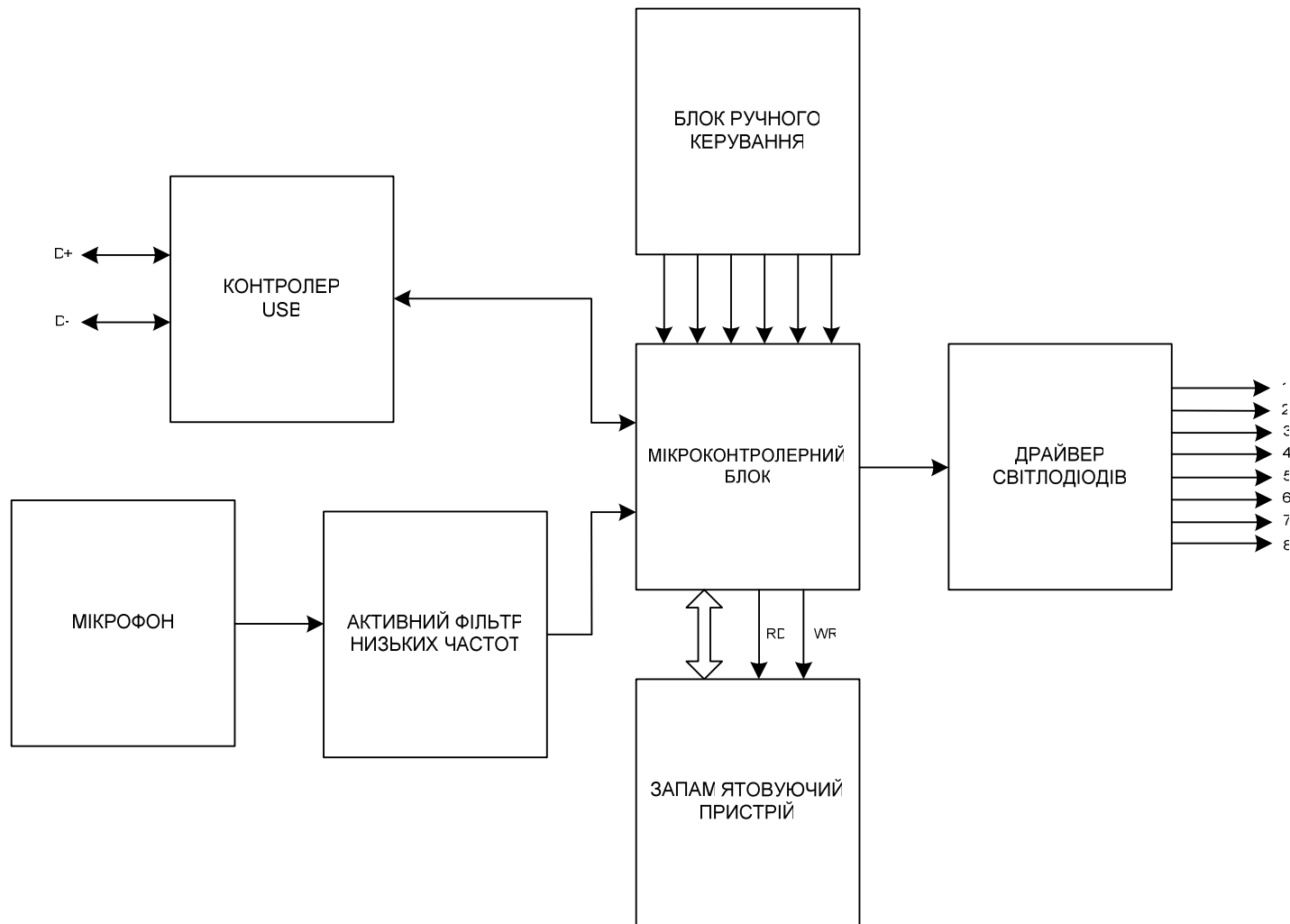
Оформлення магістерської роботи повинно відповідати вимогам, викладеним у ДСТУ 3008:2015 «Документація. Звіти в сфері науки і техніки. Структура і правила оформлення».

10. Вимоги щодо технічного захисту інформації в МКР з обмеженим доступом

Відсутні.

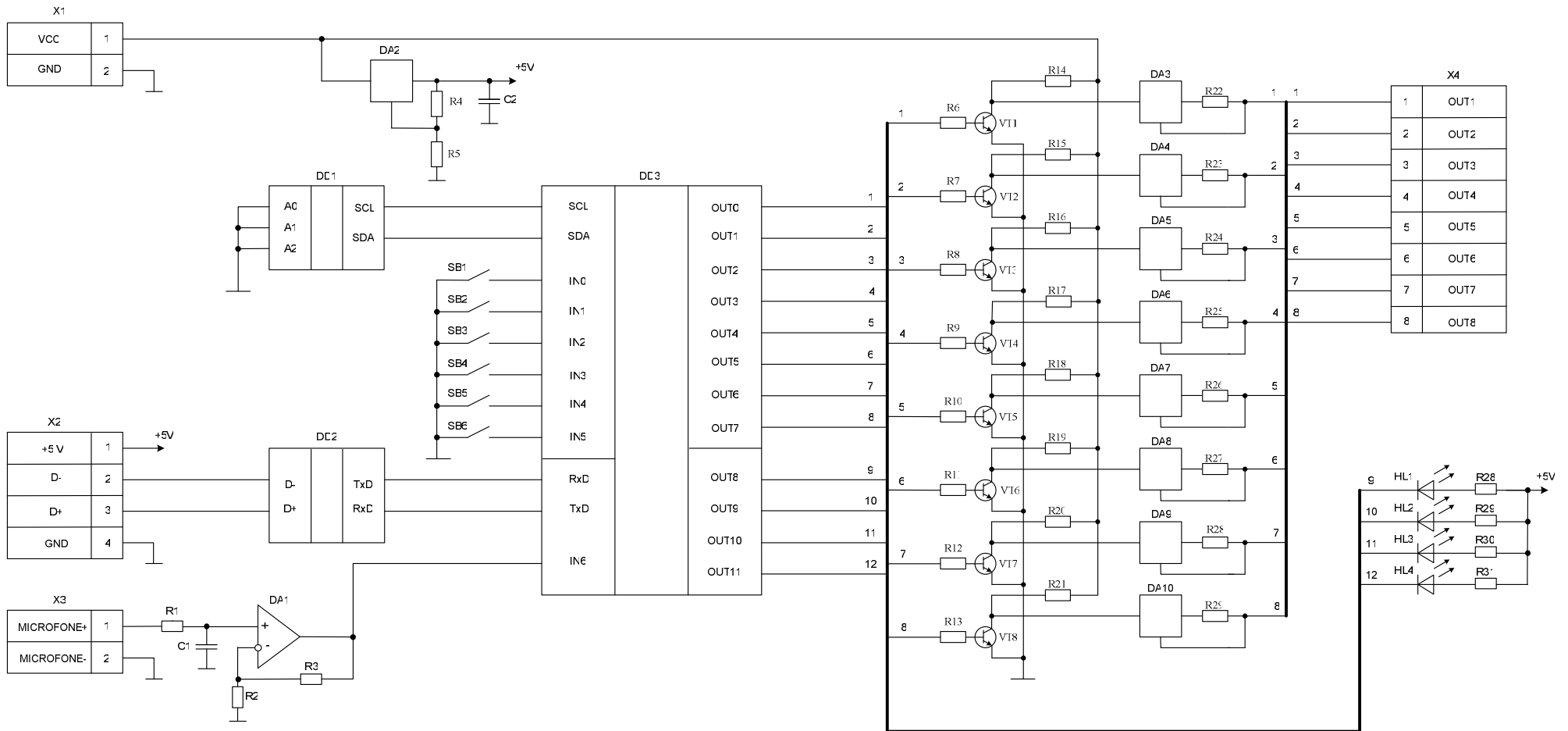
Додаток Б

Структурна схема засобу для створення світлового дизайну



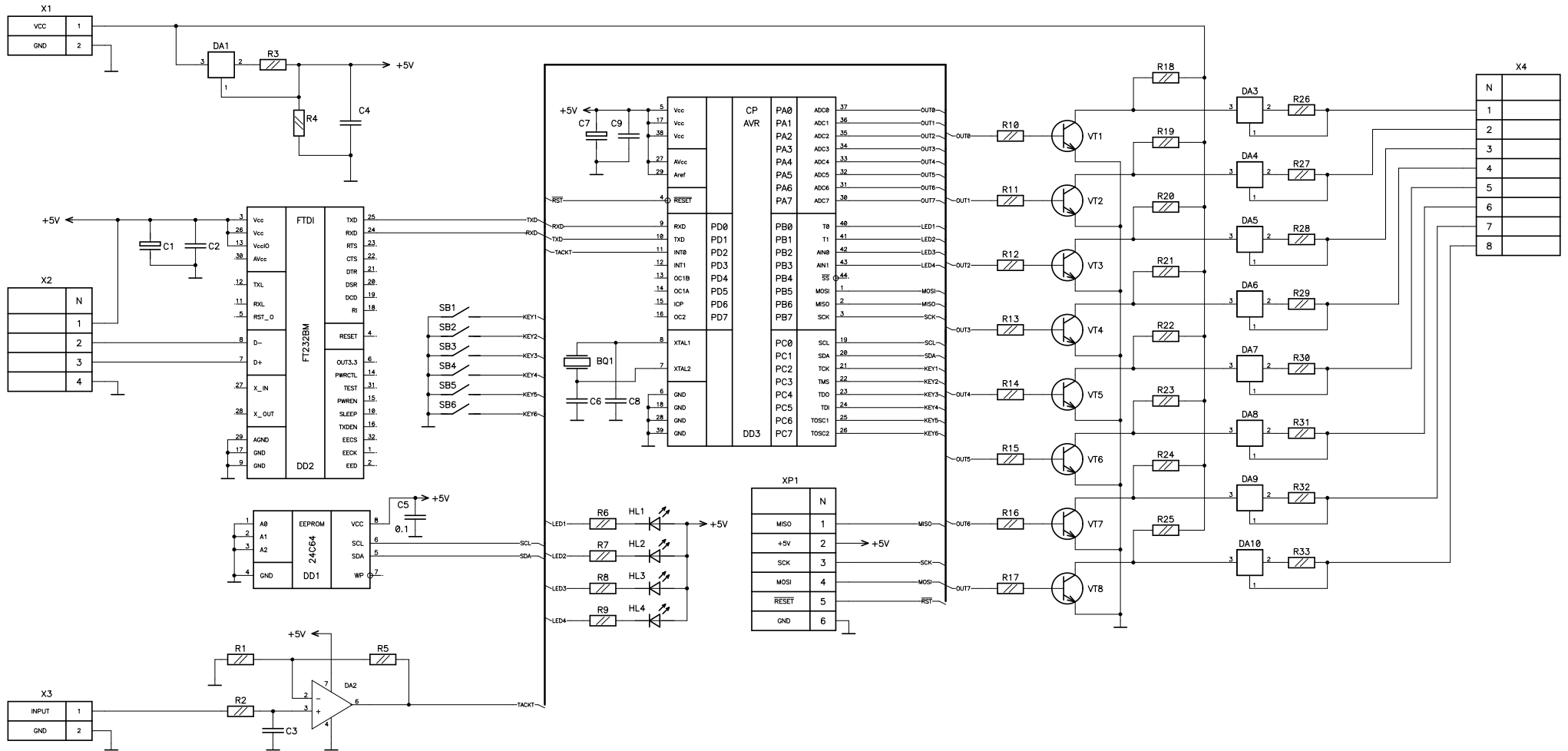
Додаток В

Функціональна схема засобу для створення світлового дизайну



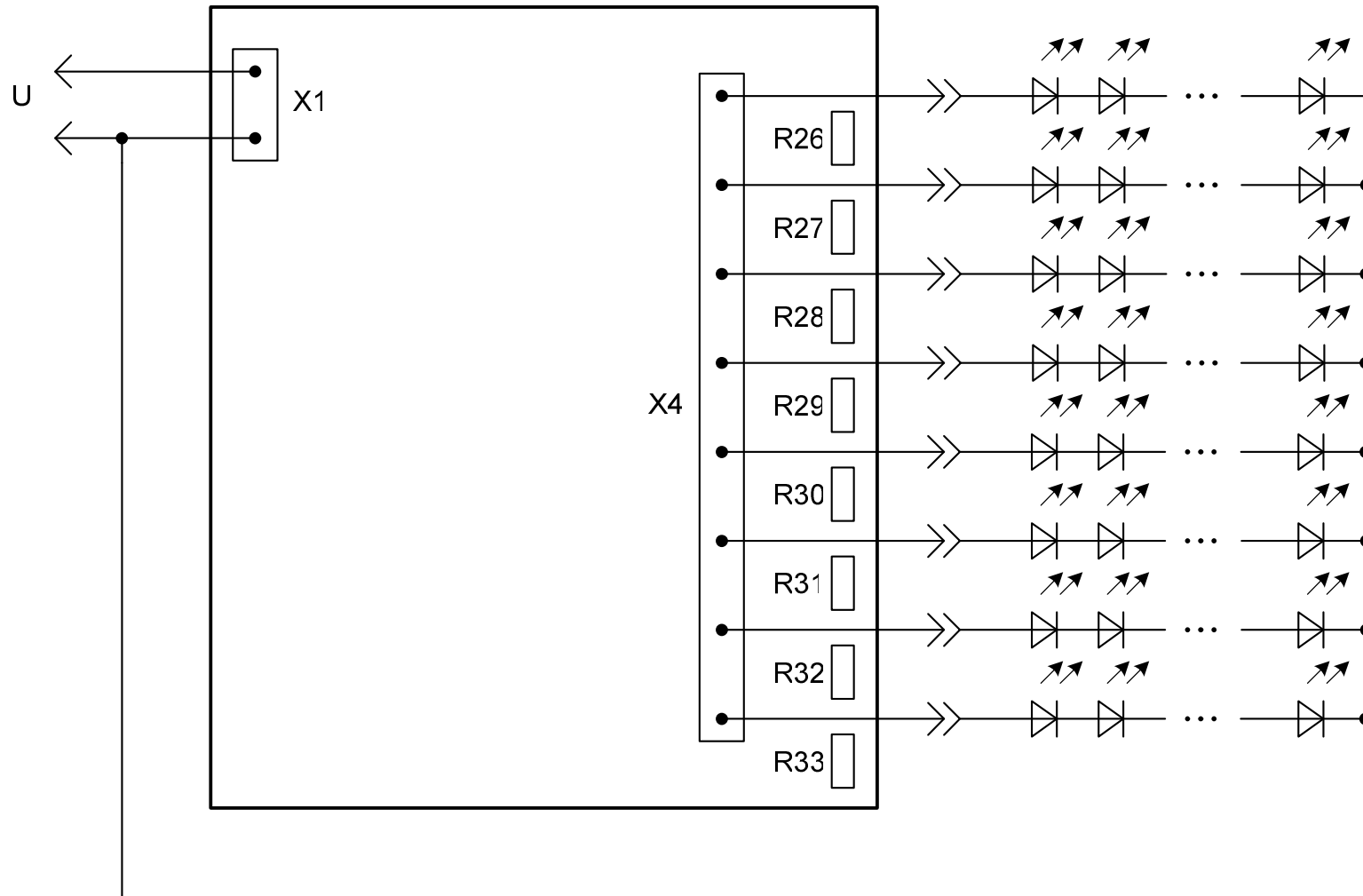
Додаток Г

Схема електрична принципова засобу для створення світлового дизайну



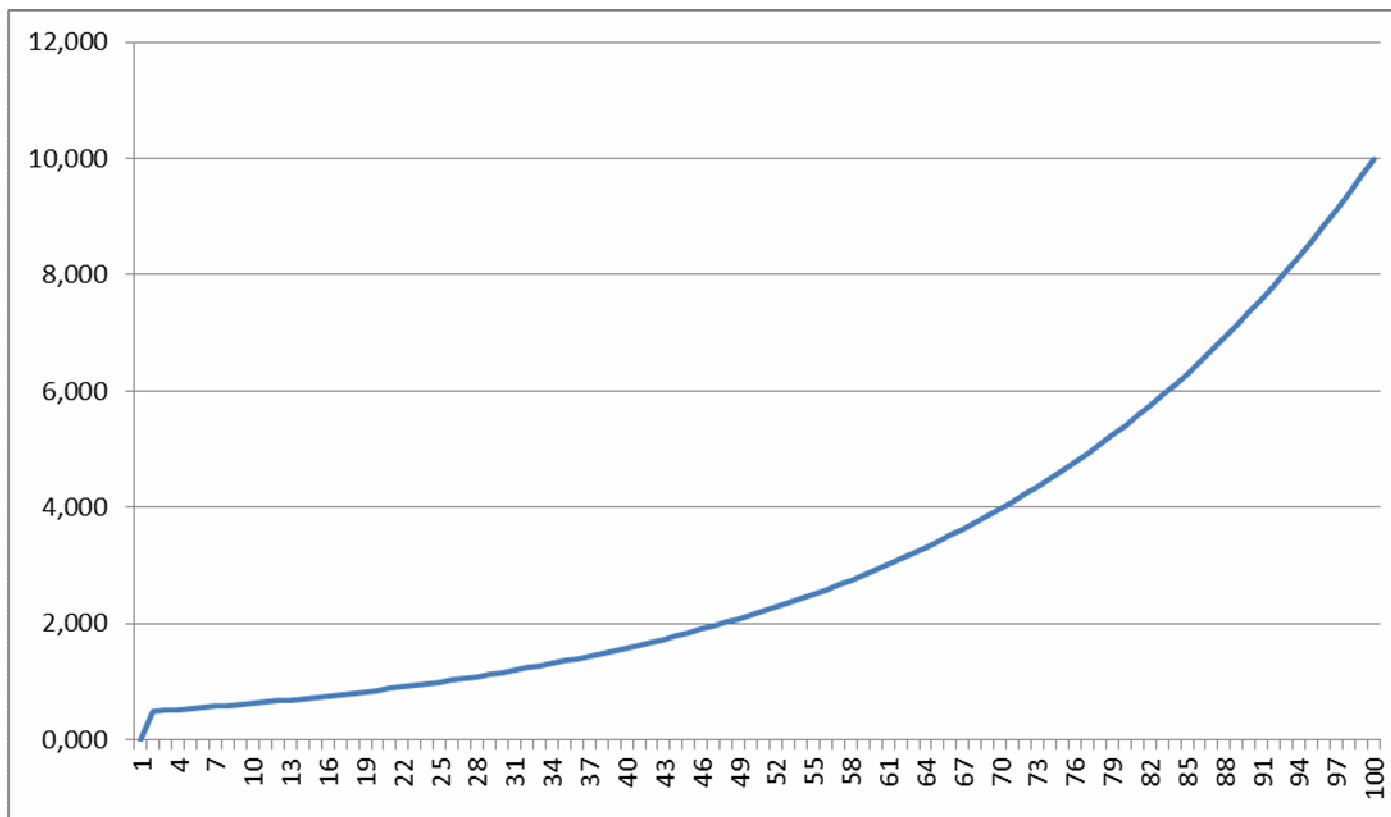
Додаток Д

Схема підключення світлодіодних джерел до засобу для створення світлового дизайну



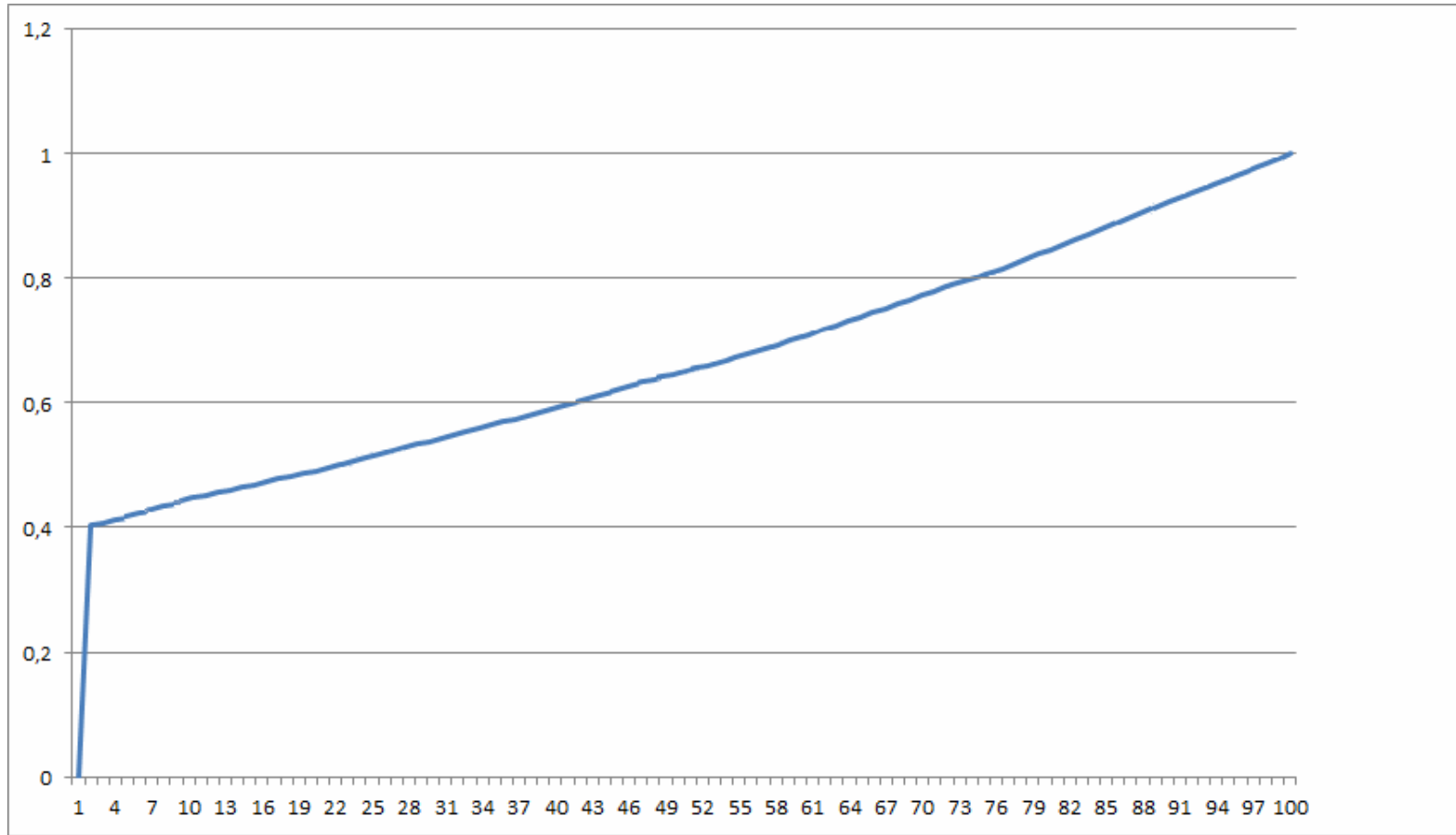
Додаток Е

Результати моделювання відтворення рівнів яскравості



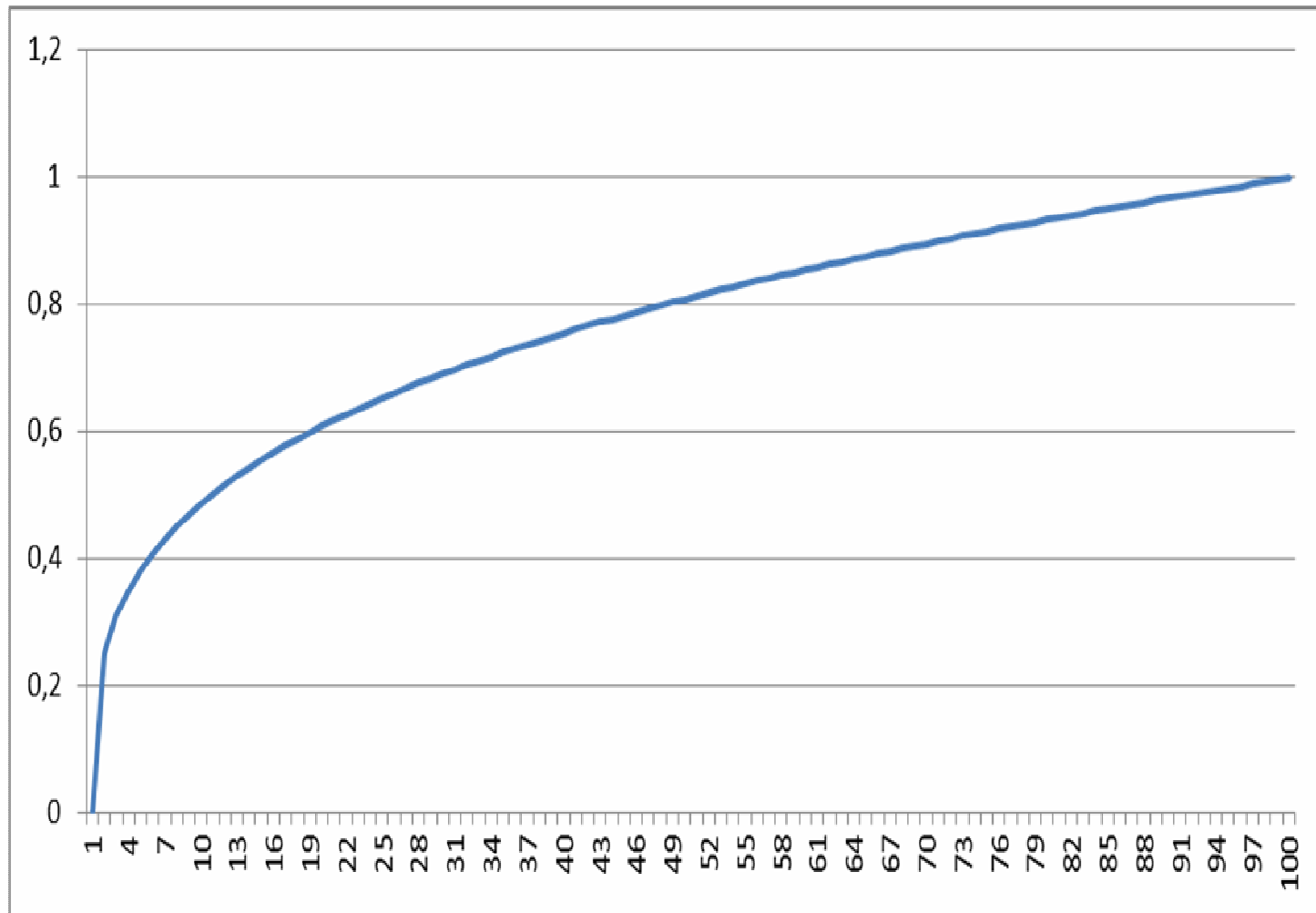
Залежність тривалості імпульсу від відтворюваного рівня яскравості

Продовження додатку Е



Зміна яскравості, що сприймається оком, при запропонованому методі керуванні зміною яскравості джерела

Продовження додатку Е



Зміна яскравості, що сприймається оком, при рівномірній зміні яскравості джерела

Додаток Ж

Схема програми засобу для створення світлового дизайну

