

Гельжинський І.І., Куцій С.А. Національний університет "Львівська політехніка", Львів
Верига А.Д. Чернівецький Національний університет імені Юрія Федьковича, Чернівці
Лукова-Чуйко Н.В. Київський національний університет імені Тараса Шевченка, Київ

СХЕМА ПРИЛАДУ КЕРУВАННЯ OLED ДЛЯ ОСВІТЛЕННЯ ПРИМІЩЕННЯ

Анотація: Розроблено схему електричну принципову керування органічними світлодіодами, які пропонується застосовувати для освітлення приміщень. Передбачено три канали з регулюванням яскравості свідчення OLED. Це дозволяє або керувати триколірними панелями, або освітленням трьох зон в приміщенні, або здійснювати три етапне керування увімкнення світла і так забезпечити плавну зміну яскравості освітлення за рахунок почергового засвічування в кожному з трьох каналів. Його особливістю є підтримування постійної освітленості в приміщенні в залежності від часу доби (зовнішнього освітлення).

Розроблена схема приладу може знайти застосування в системах типу "Розумний будинок", однією з підсистем якого є підсистема освітлення призначенням якої є керування освітленням в приміщенні з метою комфорту та економії електроенергії. Запропонований прилад розроблений як самостійний і надалі може бути розвинутий для інтегрування в систему "Розумний будинок" із застосуванням "однопровідного" протоколу для управління. Оскільки OLED можуть бути нанесені на гнучкі підкладки то світловипромінюючі поверхні можна оформити у вигляді шпалер або плит, що кріпитимуться на стіну або стелю, оформлятися у вигляді натяжних конструкцій. Схема керування може бути розвинена і вдосконалена, розширений її функціонал, забезпечити керування по локальній безпроводній мережі Wi-Fi, та ін.

На відміну від кремнієвого світлодіоду залежність світлового потоку від струму через органічний світлодіод має децю інший характер – вона є нелінійною і зі зростанням струму світлодіоду швидкість збільшення яскравості зростає. Ця характеристика врахована в законах регулювання програми мікроконтролера, який керує роботою приладу.

Задля зменшення впливу пульсацій світла на зір, які спостерігаються при малих тривалостях імпульсів ШІМ, регулювання яскравості здійснюється частково ШІМ (від 50 до 100 % тривалості імпульсу) і частково регулюванням напруги живлення світлодіодів.

Ключові слова: світлодіод, розумний будинок, мікроконтролер, широтно-імпульсна модуляція, освітлення

Helzhynsky I.I., Kutsiy S.A. Lviv Polytechnic National University, Lviv
Veryha A.D. Yuriy Fedkovych Chernivtsi National University, Chernivtsi
Lukova-Chuyko N.V. Taras Shevchenko National University of Kyiv

THE SCHEME OF OLED CONTROL DEVICE FOR ROOM LIGHTING

Abstract: The electric scheme of control device of organic light-emitting diodes which are considered to apply for room lighting has been introduced. There are three channels with OLED adjustable brightness. This allows to control either tricolor panel sorlighting of three-room areas, orto perform a three-stage control of the light. Thus, it provides a gradual change in lighting brightness by alternating lighting in each of three channels. Its feature is to maintain constant lighting in the room depending on the time of day (outdoor lighting).

The developed scheme of the device can be used in such systems as "Smart Home", one of the subsystems of which is the lighting subsystem. Its purpose is to control the lighting in the room for comfort and energy saving. The device has been designed in order to function on its own and it can be further developed for integration into the "Smart Home" system using a "single-wire" protocol for control. Since OLED can be applied into flexible substrates, light-emitting surfaces can be designed as a wall paper or

plates that will be attached to the wall or ceiling. It can also be designed in the form of tension structures. The control scheme can be developed and improved, its functionality has to be expanded. It is also important to provide control on a local wireless network of Wi-Fi, etc.

Unlike a silicon LED, the dependence of the luminous flux on the current through the organic LED has a slightly different character – it is nonlinear and with increasing LED current, the rate of brightness increases. This characteristic is taken into account in the laws of regulating microcontroller program which controls work of the device.

In order to reduce the effect of light pulsations on vision, which are observed at short PWM pulse duration, the brightness is adjusted partly by PWM (from 50% to 100% of the pulse duration) and partly by adjusting the supply voltage of the LEDs.

Keywords: LED, smart home, microcontroller, pulse width modulation, lighting

Гельжинский И.И., Куций С.А. Национальный университет "Львовская политехника", Львов
Верига А.Д. Черновицкий Национальный университет имени Юрия Федьковича, Черновцы
Лукова-Чуйко Н.В. Киевский национальный университет имени Тараса Шевченко, Киев

СХЕМА ПРИБОРА УПРАВЛЕНИЯ OLED ДЛЯ ОСВЕЩЕНИЯ ПОМЕЩЕНИЯ

Аннотация: Разработано схему электрическую принципиальную прибора управления органическими светодиодами, которые предлагается применять для освещения помещений. Предусмотрено три канала с регулировкой яркости свечения OLED. Это позволяет либо управлять трехцветными панелями, или освещением трех зон в помещении, или осуществлять три этапное управление включения света и так обеспечить плавное изменение яркости за счет поочередной засветки в каждом из трех каналов. Его особенностью является поддержание постоянной освещенности в помещении в зависимости от времени суток (внешнего освещения).

Разработанная схема прибора может найти применение в системах типа "Умный дом", одной из подсистем которого является подсистема освещения назначением которой является управление освещением в помещении с целью комфорта и экономии электроэнергии. Предложенный прибор разработан как самостоятельный и в дальнейшем может быть развит для интегрирования в систему "Умный дом" с применением "однопроводного" протокола для управления. Поскольку OLED могут быть нанесены на гибкие подложки то светоизлучающим поверхностям можно оформить в виде обоев или плит, крепиться на стену или потолок, оформляться в виде натяжных конструкций. Схема управления может быть развита и усовершенствована, расширен ее функционал, обеспечить управление по локальной беспроводной сети Wi-Fi и др.

В отличие от кремниевого светодиода зависимость светового потока от тока через органический светодиод имеет несколько иной характер – она является нелинейной и с ростом тока светодиода скорость увеличения яркости растет. Эта характеристика учтена в законах регулирования программы микроконтроллера, который руководит работой прибора.

Для уменьшения влияния пульсаций света на зрение, которые наблюдаются при малых длительностях импульса ШИМ, регулировка яркости осуществляется частично ШИМ (от 50 до 100% длительности импульса) и частично регулированием напряжения питания светодиодов.

Ключевые слова: светодиод, умный дом, микроконтроллер, широтно-импульсная модуляция, освещение

1. Вступ

Перехід на світлодіодні джерела освітлення понижує загальне енергоспоживання приладів та систем освітлення при тих же рівнях світлового потоку, економиться електроенергія, тим самим зменшуючи негативний вплив на екологію.

В даний час, з точки зору якості кольору, лампа розжарювання є одним з найбільш зручних джерел освітлення що нагадує природне сонячне світло. Світло від неї не спотворює

природного кольору об'єктів. Проте, вона перетворює тільки 5% споживаної електроенергії в світло, що призводить до зниження енергетичної ефективності приблизно на 15 лм/Вт.

Люмінесцентні лампи, які випромінювали світло методом перетворення з пониженням частоти світла. Ефективність люмінесцентних ламп досягає до $60 \div 100 \text{ лм/Вт}^{-1}$ і використовувалася як альтернативне джерело освітлення, хоча їх якість кольору відносно нижча, ніж у ламп розжарювання. На жаль, вони містять токсичну ртуть, яка шкідлива для здоров'я людей.

У порівнянні з попередніми двома типами джерел світла неорганічні світлодіоди продемонстрували досить високу ефективність, яка в даний час може майже вдвічі перевищувати ефективність люмінесцентних ламп. Крім того, неорганічні світлодіоди є невеликими точковими джерелами, тому вони можуть бути застосовані у аналогічній формі вищезгаданим двом типам джерел світла. Крім того, їх якість кольору не гірша ніж флуоресцентних ламп. Однак, незалежно від того, що люмінесцентні лампи замінюють лампи розжарювання, або неорганічні світлодіоди перевершують їх обох в якості основного джерела освітлення, споживачі при виборі джерела світла в основному зосереджуються на більш високій енергоефективності. Коли мова йде про якість кольору, як неорганічні світлодіоди, так і флуоресцентні трубки мають як мінімум два недоліки: більш низький CRI і зміщення спектру випромінювання в синю область.

Отже, альтернативні джерела світла що можуть демонструвати співставну по ефективності роботи і одночасно кращу якість кольоропередачі однозначно користуються попитом. Для WOLED шкідливе синє випромінювання може бути в значній мірі усунуто. Крім того, для WOLED з тонкою товщиною порядку декількох міліметрів відкриваються можливості створення нових конструкцій освітлення.

2. Яскравість світлодіодів

Відомо, що яскравість світлодіоду залежить від середньої величини прямого струму [1]. На рис.1 зображений графік залежності світлового потоку кремнієвого світлодіоду від прямого струму.

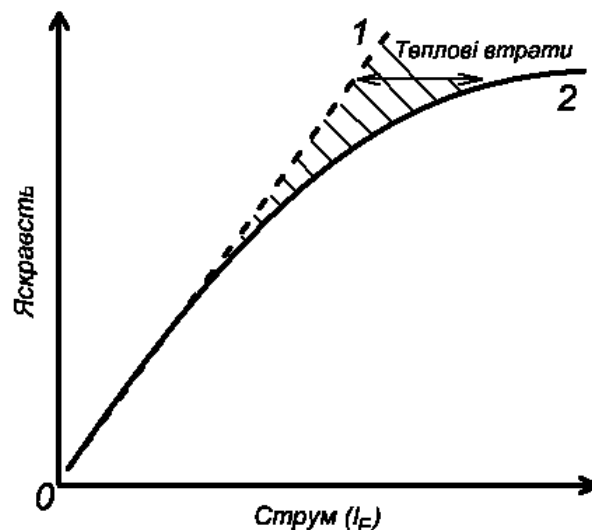


Рис.1. Залежність світлового потоку від струму через світлодіод:
1 (пунктирна) – ідеальна, 2 (суцільна) – типова

У області використовуваних значень прямих струмів (I_F) графік виключно лінійний. Нелінійність починає проявлятися при збільшенні I_F . При виході струму за межі лінійної ділянки ефективність світлодіоду зменшується, оскільки поза лінійною областю значна

частина потужності, що підводиться до світлодіоду, розсіюється у вигляді тепла. Це переважує драйвер світлодіоду і ускладнює тепловий розрахунок конструкції.

На відміну від кремнієвого світлодіоду залежність світлового потоку від струму через органічний світлодіод має дещо інший характер і показана на рис.2. Ця характеристика є нелінійною і зі зростанням струму світлодіоду швидкість збільшення яскравості зростає.

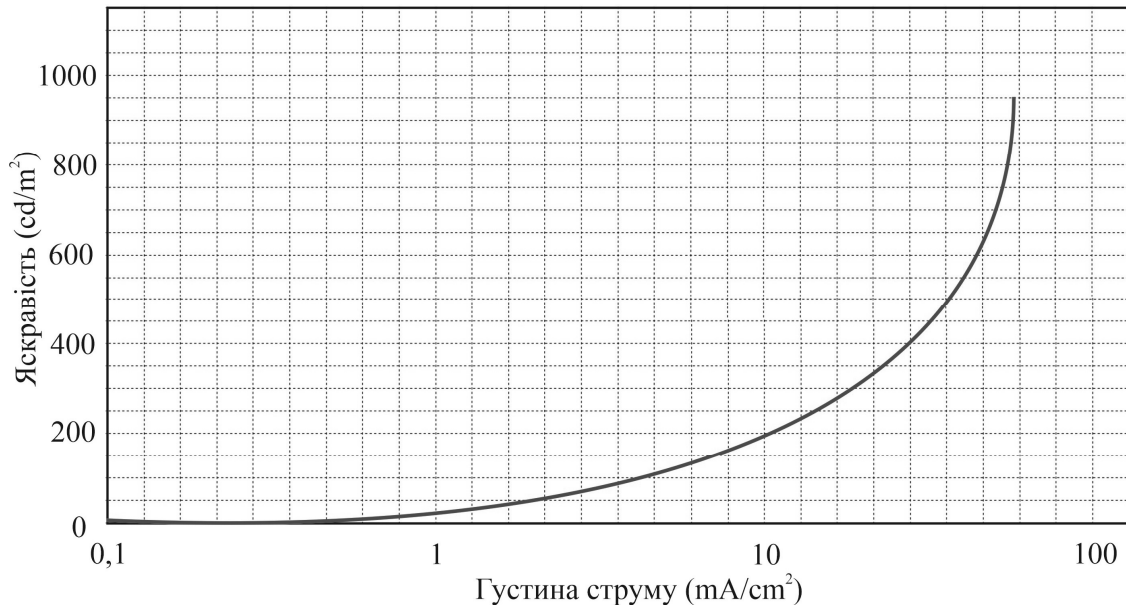


Рис.2. Залежність світлового потоку від струму через органічний світлодіод.

Максимальне значення яскравості свічення OLED обмежене фізичними особливостями його роботи і при перевищенні певного граничного значення струму подальшого зростання яскравості практично не відбувається. Окрім того максимальне значення густини струму обмежене максимальною розсіюваною потужністю, при її перевищенні прилад буде перегріватися, що призводить до прискорення деградації а при подальшому збільшенні густини струму до виходу з ладу.

Отже для OLED теж є важливим утримувати значення струму на заданому рівні так, щоби не перевищувати максимально-допустимого значення.

3. Способи управління яскравістю світіння світлодіодів

Існують два поширені способи управління яскравістю (діммірування) світлодіодів в схемах драйверів [1]: широтно-імпульсна модуляція (ШІМ) і аналогове регулювання. Обидва способи зводяться, врешті, до підтримки певного рівня середнього струму через світлодіод, або ланцюжок світлодіодів.

4. Аналогове діммірування

Аналогове діммірування – це поцикловое управління прямим струмом світлодіоду, тобто підтримування струму світлодіоду на постійному рівні. Аналогове діммірування виконується або регулюванням резистора датчика струму, або зміною рівня постійної напруги.

Як видно із залежності струму світлодіоду від напруги (рис.3), в робочих режимах струм експоненційно залежить від напруги і незначні зміни напруги призводять до великих змін струму. Оскільки світловий вихід пропорційний експоненційно струму, то і яскравість світлодіоду виявляється нестабільною. Крім того, якщо струм перевищить допустиму межу, то перегрів світлодіоду може привести до його прискореного старіння.

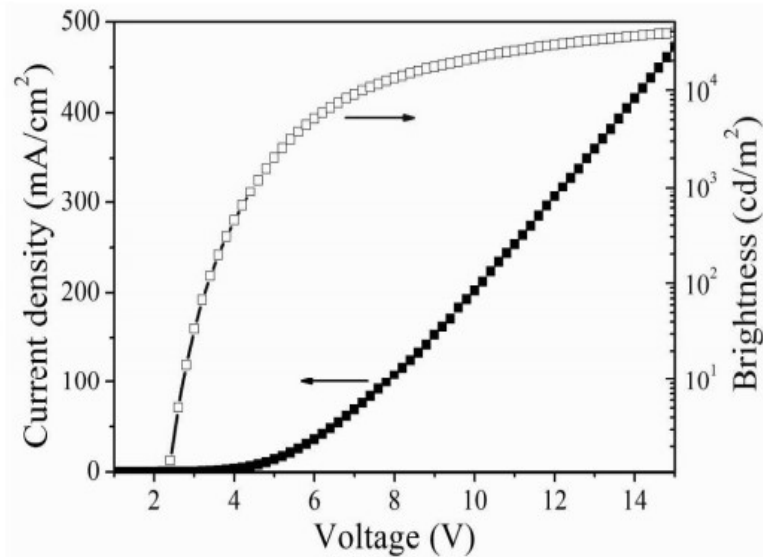


Рис.3. Залежність усереднена густини струму органічного світлодіоду та яскравості від напруги на світлодіоді.

Недоліком аналогового диммірування також є те, що колірна температура випромінюваного світла може залежати від прямого струму світлодіоду. У тих випадках, коли зміна кольору світіння неприпустима, диммірування світлодіоду регулюванням прямого струму застосовуватися не може.

5. Диммірування за допомогою ШІМ

Яскравість світлодіодів часто не оптимальна із-за того, що резистор не відповідає прямій напрузі реального світлодіоду [2]:

- струм світлодіоду вище ніж потрібно, відповідно яскравість вище, але при цьому зростає температура переходу і світлодіод починає перегріватися і деградує або виходить з ладу.
- струм нижче необхідного, при цьому яскравість нижче і відповідно не витримуються розрахункові показники яскравості.

Зміна яскравості шляхом зміни струму або внаслідок його не правильного встановлення призводить до того, що додатково змінюється і колір свічення світлодіодів (колірна температура). Колірна температура конкретного світлодіода описується діапазоном значень і зміщується при зміні прямого струму, температури переходу, а також, у міру старіння приладу. З цього випливає, що в застосунках де необхідне регулювання яскравості потрібно проводити її не шляхом зміни струму, а за допомогою ШІМ де струм завжди залишається постійним.

Диммірування за допомогою ШІМ полягає в управлінні моментами включення і виключення струму через світлодіод, повторюваними з досить високою частотою, яка, з урахуванням фізіології людського ока, має бути вище 200 Гц, інакше, може проявитися ефект мерехтіння [2], а за даними європейського стандарту IEC 60825-1 [3] рекомендована частота ШІМ світлодіодних освітлювальних приладів повинна бути вище 1250 Гц, тому що при такій частоті мерехтіння світло не впливає на зір і самопочуття людини.

В ШІМ шпаринність імпульсів регулює яскравість свічення, причому лінійно

$$D = \tau/T,$$

де D - шпаринність, τ - тривалість імпульсу, T - період слідування імпульсів.

Відповідно середній струм визначається:

$$I_{avg} = I_{peak} \cdot D,$$

де I_{avg} - середній струм, I_{peak} - піковий струм.

Середній струм через світлодіод є пропорційним коефіцієнту заповнення імпульсів і виражається формулою:

$$I_{DIM-OLED} = D_{DIM} \cdot I_{OLED},$$

де $I_{DIM-OLED}$ – середній струм через світлодіод, D_{DIM} – коефіцієнт заповнення імпульсів ШІМ, I_{OLED} – номінальний струм світлодіоду.

ШІМ дає набагато менший розкид зміни кольору, а для одного кристалу колір практично повністю стабільний [2]. Піковий струм вибирається виходячи з вимог технічної документації на світлодіод (шпаринність, тривалість імпульсу, частота і піковий струм).

6. Вибір закону регулювання яскравості OLED

Регулювання яскравості світіння світлодіодів за допомогою ШІМ при лінійному збільшенні коефіцієнта заповнення, суб'єктивно сприймається, що яскравість світлодіода спочатку росте швидко, а потім майже не змінюється, аж до максимального значення. Це явище пов'язано з тим що, інтенсивність зорового відчуття має нелінійну залежність від інтенсивності випромінювання джерела. Це твердження справедливо не лише для зорового сприйняття, але і для ряду інших відчуттів (слух, нюх і т.д.).

На основі експериментів Э. Вебера, Г. Фехнера сформулював психофізіологічний закон (закон Вебера - Фехнера), згідно з яким інтенсивність відчуття пропорційна логарифму інтенсивності подразника рис.4 [4, 5]:

$$S_{VF} = k \cdot \ln(R),$$

де S - інтенсивність відчуття, R - інтенсивність подразника, k - константа, яка залежить від одиниць виміру.

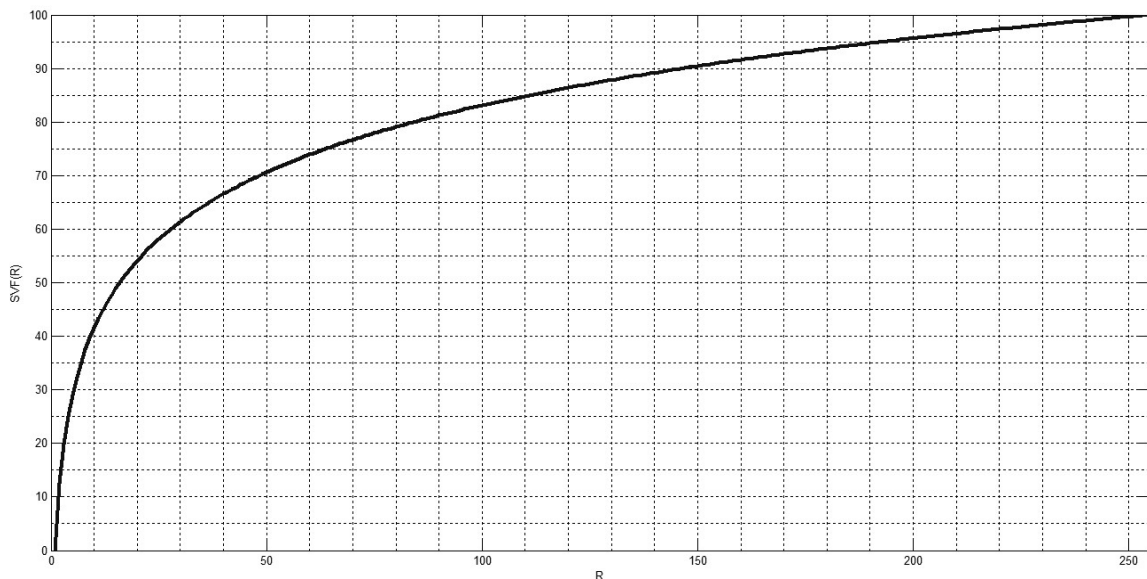


Рис.4. Графік залежності інтенсивності зорового відчуття від інтенсивності подразника для закону Вебера - Фехнера ($k=18,047$).

С. Стивенс зробив модифікацію закону Вебера - Фехнера, вважаючи, що залежність носить характер загальної степеневій функції з різними показниками степені для кожного виду відчуттів рис.5 (закон Стівенса [5]):

$$S_S = k \cdot R^n,$$

де n - показник степені, який залежить від виду відчуттів.

Для зорового відчуття яскравості, степеневий показник має значення $n=0,33$ (за умови адаптованого до темряви спостерігача і розмірі подразника в 5 градусів).

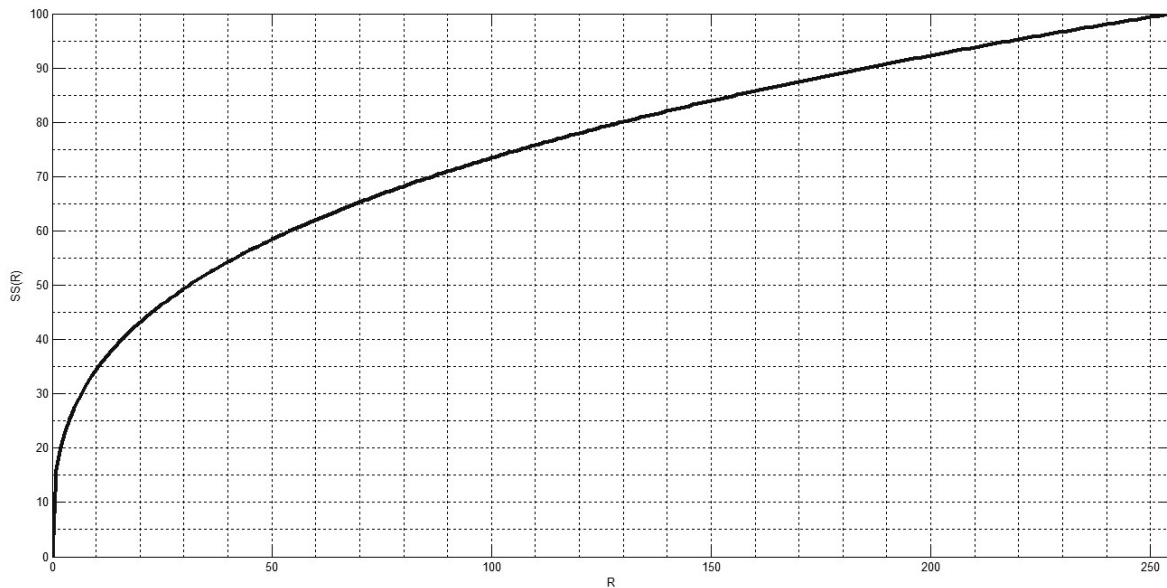


Рис.5. Графік залежності інтенсивності зорового відчуття від інтенсивності подразника для закону Стівенса ($k=16,065$).

На графіках вищенаведених функцій замість інтенсивності подразника (R) підставлені значення коефіцієнту заповнення ШІМ сигналу (від 0 до 255 при 8-ми бітовому ШІМ). Константу k підбрано так, щоб при максимальному світловому потоці (коефіцієнт заповнення ШІМ дорівнює 255) значення інтенсивності відчуття (S) дорівнювало числу 100 (для зручності).

З обох графіків можна побачити, що при лінійному збільшенні коефіцієнта заповнення, а відповідно і світлового потоку від світлодіода, інтенсивність відчуття спочатку росте швидко, а потім темп росту сповільнюється. Тому оком сприймається таке нерівномірне збільшення яскравості світлодіода.

Щоб отримати лінійне збільшення яскравості, необхідно виконати зворотну процедуру, вичислити значення змінної R (коефіцієнт заповнення ШІМ) при лінійному збільшенні змінної S (інтенсивність відчуття).

7. Схема електрична приладу керування OLED для освітлення приміщення

Отже регулювати яскравість світіння світлодіодів, що живляться від імпульсних перетворювачів, можна різними способами. Для кожного з двох основних методів (аналогового та ШІМ), характерні свої переваги і недоліки. Ціною використання додаткової логіки, ШІМ регулювання значно зменшує варіації кольору світлодіода при зміні яскравості. Схемотехніка аналогового диммірування простіша, але непридатна там, де вимагається підтримка постійної колірної температури. Тому при розробці схем тестування OLED вибрано ШІМ регулювання.

Якщо необхідно отримати найкращу однорідність світіння, в якості рішення можна узяти два різні варіанти. Простим є використання світлодіодів на струмах, близьких до групових (на струмах, при яких відбувається сортування на заводі). Проте, якщо потрібно буде змінювати яскравість світлодіодів або неможливо використовувати струм близький до групового, тоді альтернативним рішенням буде використання ШІМ. В цьому випадку прямий струм I_F залишається постійною величиною (близькою до значення групового), а змінюється тільки шпаруватість (відношення тривалості імпульсу до частоти сигналу). Рекомендована частота включення-виключення світлодіода більше 1 кГц, при такій високій частоті людське

око не сприймає окремі світлові імпульси. Око інтегрує імпульси світла і розпізнає їх як зміну яскравості при різній шпаруватості.

В усіх випадках рекомендується використання інтегрального або дискретного стабілізатора струму, і не рекомендується використання баластних резисторів для встановлення робочого струму.

Розроблена схема може знайти застосування в системах типу "Розумний будинок", однією з підсистем якого є підсистема освітлення призначенням якої є керування освітленням в приміщенні з метою комфорту та економії електроенергії [6].

Запропонований прилад розроблений як самостійний і надалі може бути розвинутий для інтегрування в систему "Розумний будинок". Його особливістю є підтримання постійної освітленості в приміщенні в залежності від часу доби (зовнішнього освітлення). Сенсор зовнішнього освітлення повинен розміщуватися на вулиці, бажаний рівень освітленості в приміщенні виставляється змінним резистором приладу R2. Регулювання напруги живлення OLED додатково сприяє економії електроенергії, особливо при їх великих площах.

Схема керування освітленням представлена на рис.6.

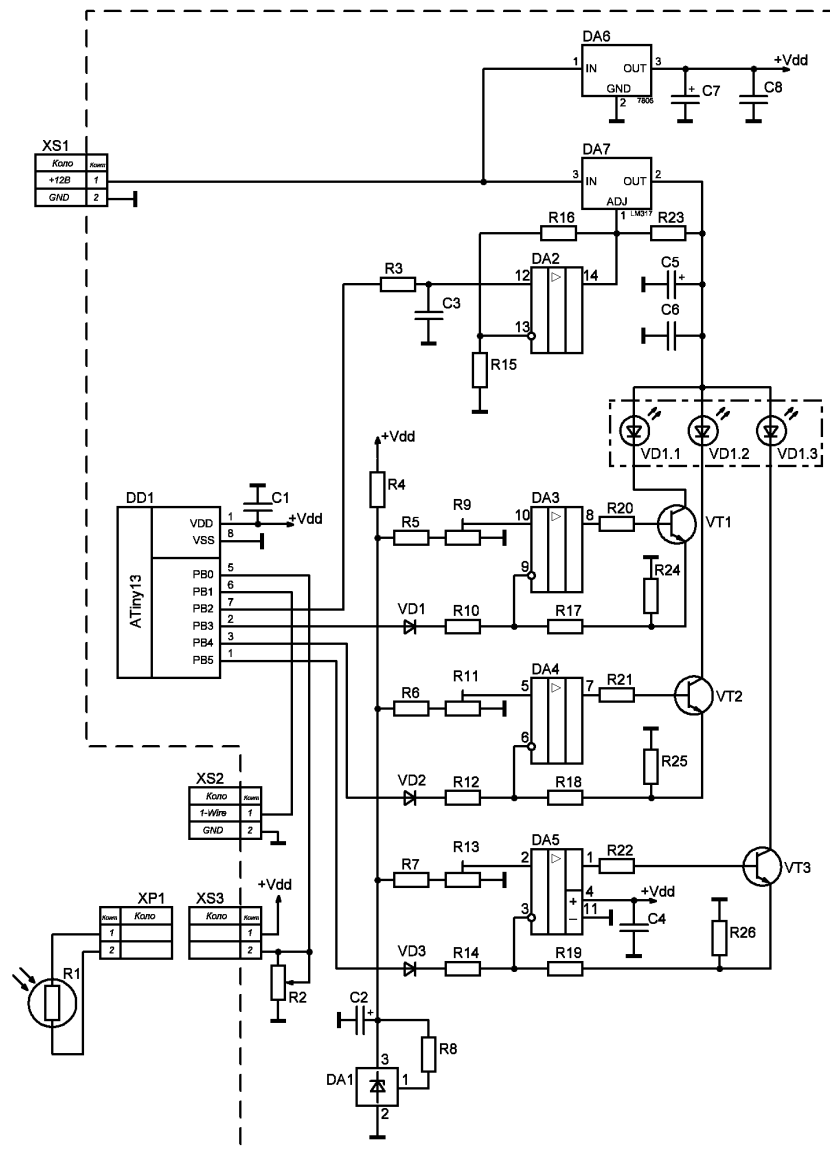


Рис.6. Тестова схема електрична принципова керування світлодіодним освітленням на основі OLED.

Задля зменшення впливу пульсацій світла на зір, які спостерігаються при малих тривалостях імпульсів ШІМ, регулювання яскравості здійснюється частково ШІМ (від 50 до 100 % тривалості імпульсу) і частково регулюванням напруги живлення світлодіодів.

В основі схеми закладений мікроконтролер ATTiny13A [7]. В його функції входить вимірювання напруги з виходу резистивного дільника (вхід мікроконтролера PB0), здійснювати ШІМ керування стабілізаторами струму світлодіодів (виходи PB3, PB4, PB5), та ШІМ керування стабілізатором напруги живлення світлодіодів (вихід PB2), інтегруватися в "однопроводу" мережу передавання даних типу 1-Wire (PB1).

Стабілізатор струму зібраний за класичною схемою на операційному підсилювачі LM324 [8, 9]. Операційний підсилювач ввімкнений за схемою не інвертуючого підсилювача з від'ємним зворотним зв'язком за напругою та з емітерним повторювачем на біполярному транзисторі для підсилення вихідного струму. Давачем струму служить резистор в колі емітера транзистора. Співвідношення резисторів в колі зворотного зв'язку задають його коефіцієнт підсилення, який визначає, у скільки разів вихідна напруга буде вище вхідної (опорної, на не інвертуючому вході операційного підсилювача). Оскільки коефіцієнт підсилення не інвертуючого підсилювача завжди більше одиниці, величина опорної напруги обрана менше необхідної мінімальної вихідної напруги. Опорна напруга подається на не інвертуючий вхід. Опорне джерело напруги зібране на спеціалізованій мікросхемі TL431C [10].

Коли на лінії порта мікроконтролера високий логічний рівень, то ця напруга подається через діод на інвертуючий вхід операційного підсилювача, вона більше опорної і стабілізатор струму вимкнений. При низькому логічному рівні на лінії порта мікроконтролера напруга на інвертуючому вході операційного підсилювача нижче опорної, тоді стабілізатор струму вмикається, операційний підсилювач починає вирівнювати напругу на інвертуючому вході у відповідності з опорною напругою і здійснює стабілізацію струму (тобто забезпечується стабільна напруга на резисторі в колі емітера, а відповідно стабільний струм через світлодіод рівний відношенню опорної напруги до опору цього резистора).

Стабілізатор напруги живлення OLED зібраний на основі стабілізатора LM317 [11], операційному підсилювачі, RC фільтра.

LM317 – це регульований стабілізатор напруги здатний забезпечити вихідну напругу в діапазоні від 1,25 до 37 В з максимальним вихідним струмом до 1,5 А. Зміна рівня вихідної напруги легко встановлюється за допомогою змінного резистора. В розробленій схемі регулювання змінним резистором замінено на ШІМ (широтно-імпульсна модуляція), що дає змогу зручно здійснювати керування вихідною напругою стабілізатора мікроконтролером або іншою цифровою схемою [12]. Здійснюючи усереднення імпульсів ШІМ RC-фільтром з'являється можливість конвертувати ШІМ сигнал від мікроконтролера в постійну напругу, яка змінює вихідну напругу на LM317. Якщо напруга живлення мікроконтролера 5 В тоді, можна отримати зміни шпаруватості ШІМ-сигналу для генерації аналогової напруги тільки в діапазоні 0÷5 В. Для отримання регулювання в ширшому діапазоні необхідно використовувати операційний підсилювач, який посилює напругу до заданої величини.

Наприклад, для джерела живлення 12 В, на керуючий вивід LM317 необхідно подавати напругу від 0 до 10 В, тобто в 2 рази вище ніж напруга живлення мікроконтролера. В цьому випадку вихідну напругу стабілізатора можна встановити в діапазоні від 1,25 до 11,25 В (з урахуванням падіння напруги на самому стабілізаторі) [11].

$$V_{out} = V_{adj} + 1,25 \text{ В},$$

де V_{out} – вихідна напруга стабілізатора, V_{adj} – напруга управління.

Коефіцієнт підсилення операційного підсилювача в цьому випадку можна змінювати резисторами оберненого зв'язку R16 і R15.

$$K_U = 1 + \frac{R15}{R16},$$

де K_U – коефіцієнт підсилення, R16 і R15 – номінали резисторів.

Можливість налаштування напруги зсуву операційного підсилювача шляхом підключення підлаштовувального резистора до його спеціальних виводів дає можливість виставити «нуль». В розробленій схемі таку компенсацію можна здійснити програмно в мікроконтролері тому можна використати операційний підсилювач без компенсувальних виводів.

Зазначені на схемі значення номіналів RC фільтра (C3 і R3) відповідають частоті зрізу більше 1 кГц. Лінійність регулювання вихідної напруги забезпечується програмно, тому не має необхідності застосувати активний фільтр і його вихід безпосередньо використовувати в якості зворотного зв'язку для динамічного управління мікроконтролером.

Напруга живлення мікроконтролера та операційного підсилювача забезпечується стабілізатором напруги LM7805 [13].

Яскравість свічення OLED панелі залежить від напруги на виході резистивного дільника опторезистор та резистор під'єданого до входу мікроконтролера PB0. Освітлення при якому починає вмикатися лампа регулюється через однопровідний протокол (вхід мікроконтролера PB1).

Висновок

В роботі розроблено схему електричну принципову керування органічними світлодіодами, які пропонується застосовувати для освітлення приміщень. Передбачено три канали з регулюванням яскравості свічення OLED. Це дозволяє або керувати триколірними панелями, або освітленням трьох зон в приміщенні, або здійснювати три етапне керування увімкнення світла і так забезпечити дуже плавну зміну яскравості освітлення за рахунок почергового засвічування в кожному з трьох каналів.

Список використаної літератури

1. Rich Rosen National Semiconductor. Dimming Techniques for Switched-Mode LED Drivers. – Режим доступу: <https://www.radiolocman.com/review/article.html?di=124982>
2. Применение светодиодов – проблемы и их решения. – Режим доступу: https://radiodetali.com/media/wysiwyg/articles/led_adn_dr.pdf
3. A. Wilkins, J. Veitch and B. Lehman, "LED lighting flicker and potential health concerns: IEEE standard PAR1789 update," *2010 IEEE Energy Conversion Congress and Exposition*, Atlanta, GA, 2010, pp. 171-178, doi: 10.1109/ECCE.2010.5618050.
4. Регулировка яркости светодиода. – Режим доступу: <https://radiolaba.ru/polezno-znat/regulirovka-yarkosti-svetodioda.html>
5. «Sensory communication». N.Y., J. Wiley and Sons, Inc. W.A. Rosenblith (ed.), 1961, pp. 1-33.
6. Розумне освітлення – найперший і основний ключ до розуміння ідеї автоматизації. Світло – це наочно і ефектно.– Режим доступу: <http://www.inteldim.lviv.ua/svitlo.html>
7. 8-bit Microcontroller with 1K Bytes In-System Programmable Flash ATtiny13.– Режим доступу: <https://ww1.microchip.com/downloads/en/devicedoc/doc2535.pdf>
8. П.Хоровиц, У.Хилл Искусство схемотехники.– В двух томах с дополнением, изд. 5-е., перевод с англ.– М.: "Мир", 1997. – 704с.
9. LMx24-N, LM2902-N Low-Power, Quad-Operational Amplifiers. – Режим доступу: <http://www.ti.com/lit/ds/symlink/lm324-n.pdf>
10. TL431 / TL432 Precision Programmable Reference. – Режим доступу: <http://www.ti.com/lit/ds/symlink/tl431.pdf>

11. LM317 3-Terminal Adjustable Regulator. – Режим доступу: <http://www.ti.com/lit/ds/slvs044x/slvs044x.pdf>

12. Меняем выходное напряжение источника питания ШИМ сигналом. Схема. – Режим доступу: <http://fornk.ru/1537-menyaem-vyходное-napryazhenie-istochnika-pitaniya-shim-signalom/>

13. LM340, LM340A and LM7805 Family Wide VIN 1.5-A Fixed Voltage Regulators. – Режим доступу: <http://www.ti.com/lit/ds/symlink/lm340.pdf>

References

1. Rich Rosen National Semiconductor. Dimming Techniques for Switched-Mode LED Drivers/ .– Режим доступу: <https://www.radiolocman.com/review/article.html?di=124982>

2. LED Applications - Problems and Solutions. Access mode: https://radiodetali.com/media/wysiwyg/articles/led_adn_dr.pdf

3. A. Wilkins, J. Veitch and B. Lehman, "LED lighting flicker and potential health concerns: IEEE standard PAR1789 update," *2010 IEEE Energy Conversion Congress and Exposition*, Atlanta, GA, 2010, pp. 171-178, doi: 10.1109/ECCE.2010.5618050.

4. LED brightness adjustment. Access mode: <https://radiolaba.ru/polezno-znat/regulirovka-yarkosti-svetodioda.html>

5. «Sensory communication». N.Y., J. Wiley and Sons, Inc. W.A. Rosenblith (ed.), 1961, pp. 1—33.

6. Smart lighting is the first and foremost key to understanding the idea of automation. Light is visual and spectacular. Access mode: <http://www.inteldim.lviv.ua/svitlo.html>

7. 8-bit Microcontroller with 1K Bytes In-System Programmable Flash ATtiny13.– Access mode: <https://ww1.microchip.com/downloads/en/devicedoc/doc2535.pdf>

8. P. Horowitz, W. Hill. The art of circuitry. - In two volumes with an addition, ed. 5th., Translated from English - M.: "Mir", 1997. 704 p.

9. LMx24-N, LM2902-N Low-Power, Quad-Operational Amplifiers. Access mode: <http://www.ti.com/lit/ds/symlink/lm324-n.pdf>

10. TL431 / TL432 Precision Programmable Reference. Access mode: <http://www.ti.com/lit/ds/symlink/tl431.pdf>

11. LM317 3-Terminal Adjustable Regulator. Access mode: <http://www.ti.com/lit/ds/slvs044x/slvs044x.pdf>

12. We change the output voltage of the PWM power supply with a signal. Scheme. Access mode: <http://fornk.ru/1537-menyaem-vyходное-napryazhenie-istochnika-pitaniya-shim-signalom/>

13. LM340, LM340A and LM7805 Family Wide VIN 1.5-A Fixed Voltage Regulators.– Access mode: <http://www.ti.com/lit/ds/symlink/lm340.pdf>