

УДК 621.328

В.І. КОРНАГА, А.В. РИБАЛОЧКА, В.М. СОРОКІН

ДОСЛІДЖЕННЯ ВІЗУАЛЬНОГО СПРИЙНЯТТЯ ОКОМ ЛЮДИНИ ЯСКРАВІСТІ ПОСТІЙНОГО ТА ІМПУЛЬСНОГО СВІТЛОВОГО СИГНАЛУ СВІТЛОДІОДІВ

*Інститут фізики напівпровідників ім. В.Є. Лашкарьова НАНУ,
Проспект Науки 41, м. Київ, Україна*

Анотація. Розглянуто специфіку керування люмінофорних та RGB світлодіодів за допомогою постійних та змінних струмових сигналів. Наведені результати сприйняття оком людини постійного та імпульсного світлового випромінювання цих світлодіодів. Виконано порівняння ефективностей при керуванні постійними та змінними струмовими сигналами.

Аннотация. Рассмотрено специфику управления люминофорных и RGB светодиодов с помощью постоянных и переменных сигналов. Наведены результаты восприятия глазом человека постоянного и импульсного светового излучения этих светодиодов. Сделано сравнения эффективности при управления постоянными и переменными токовыми сигналами.

Abstract. The specificity control luminophore and RGB LEDs using direct and alternating current signal are researched. The results of the perception of the human eye continuous and pulsed light emission of LEDs are shown. Comparison of efficiency in the management of direct and alternating current signal are presented.

Ключові слова: світлодіод, ШІМ сигнал, людське око.

ВСТУП

Проектування ілюмінаційних, освітлювальних, сигнальних, дисплейних та інтелектуальних освітлювальних систем на основі світлодіодів вимагає вирішення задач по керуванню їх яскравістю. Специфічна вольт-амперна характеристика світлодіодів вказує на необхідність керування ними за допомогою струмових сигналів [1], які можуть бути реалізовані в режимах постійного чи змінного струмів. Найбільш розповсюдженою реалізацією сигналів змінного струму при керуванні яскравістю світлодіодів є широтно-імпульсна модуляція (ШІМ).

Оскільки в усіх вище перерахованих системах кінцевою ланкою є людське око, то необхідно визначити сприйняття ним постійного та імпульсного світлового сигналу люмінофорних та RGB-світлодіодів [2] різного кольору та інтенсивності. Доцільно також порівняти енергетичні характеристики при керуванні постійним та імпульсним ШІМ-модульованим струмами.

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНА УСТАНОВКА

Для дослідження особливостей візуального сприйняття оком людини яскравості світлодіодів при їх живленні постійним та імпульсним струмами було створено установку, блок-схема якої показана на Рис.1. Основними функціональними блоками установки є візуальний фотометр ВФМ-57, спектро радіометр НААС-2000 з інтегруючою сферою та електронна система керування параметрами живлення світлодіодів. Порівняння світлових параметрів від двох світлодіодів в установці здійснюється або за допомогою візуального фотометра ВФМ-57, або за допомогою комплексу для вимірювання світлотехнічних параметрів світлодіодів та ламп, що складається з інтегруючої сфери (діаметр 30см) та спектро радіометра. Електронна система керування забезпечує живлення світлодіодів як постійним струмом з заданою величиною струму, так і імпульсним струмом зі змінними частотою, шпаруватістю та величиною струму.

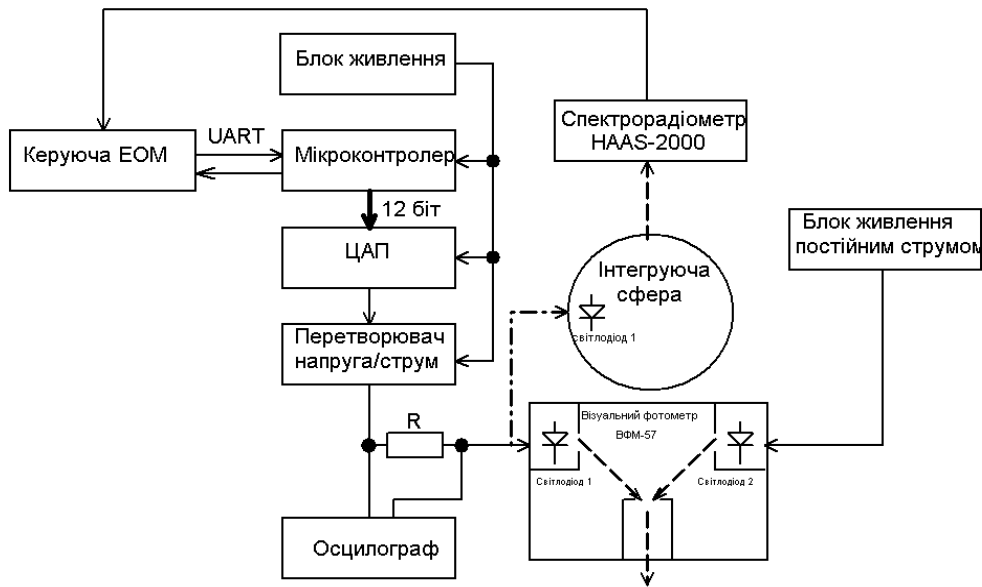


Рис.1. Блок-схема установки для порівняння світлових параметрів світлодіодів

ПОРІВНЯЛЬНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ ЛЮМІНОФОРНИХ СВІТЛОДІОДІВ

В експерименті було використано два найбільш подібних за характеристиками світлодіоди фірми OSRAM Golden DRAGON Plus LUW W5AM, для яких було проведено порівняльне дослідження залежності струму від напруги, світлового потоку від струму, потужності випромінювання від струму, а також нормованих спектрів випромінювання при струмі 350мА (Рис.2). Отримані дані демонструють подібність всіх наведених характеристик для цих двох світлодіодів та дозволяють в подальших дослідженнях враховувати незначну різницю між ними, яка в основному проявляється в різниці між їх вольт-амперними характеристиками.

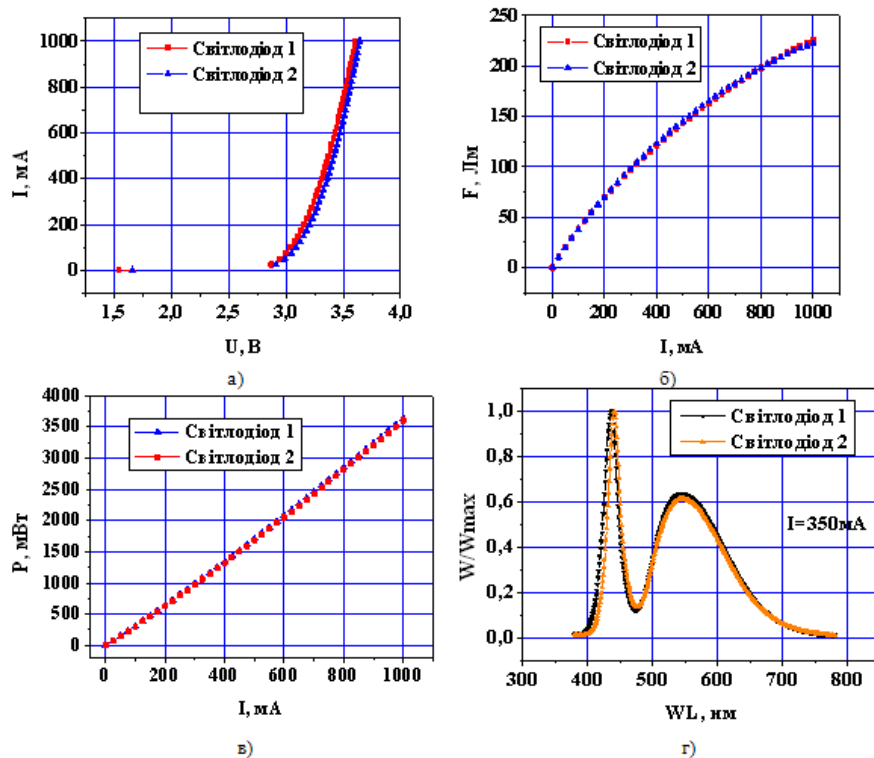


Рис.2. Залежності струму від напруги (а), світлового потоку від струму (б), потужності випромінювання від струму(в) та нормованих спектрів випромінювання (г) для світлодіодів 1 та 2

Експериментальні дослідження на установці для порівняння світлових та енергетичних параметрів світлодіодів починаються з її калібрування. За умови живлення світлодіода 1 та світлодіода 2, що знаходяться в двох оптичних каналах фотометра ВФМ-57, постійним струмом однакової амплітуди в окулярі фотометра добиваються злиття двох областей, як це показано на Рис.3. Це виконується за допомогою вбудованого в один з оптичних каналів атенюатора.



Рис.3. Зображення в окулярі візуального фотометра ВФМ-57

Для різних значень параметрів ШІМ струмового сигналу амплітудою 350 мА, за допомогою якого живиться світлодіод 1, проводилось визначення величини постійного струму живлення світлодіода 2, при якому досягається злиття областей, що відображають яскравість кожного окремого світлодіода в окулярі візуального фотометра. При однакових величинах світлового потоку експериментально визначена відповідність величини постійного струму через світлодіод 2 шпаруватості імпульсного струмового сигналу через світлодіод 1 при різних частотах цього сигналу (Рис.4).

На наступному етапі дослідження установка перемикалась в режим виміру світлового потоку за допомогою спектро радіометра НААС-2000 з інтегруючою сферою. Для світлодіода 1, розташованого в інтегруючій сфері при тих самих параметрах ШІМ сигналу визначалась залежність світлового потоку від шпаруватості імпульсного струмового сигналу при різних частотах цього сигналу. Результати дослідження наведені на Рис.5.

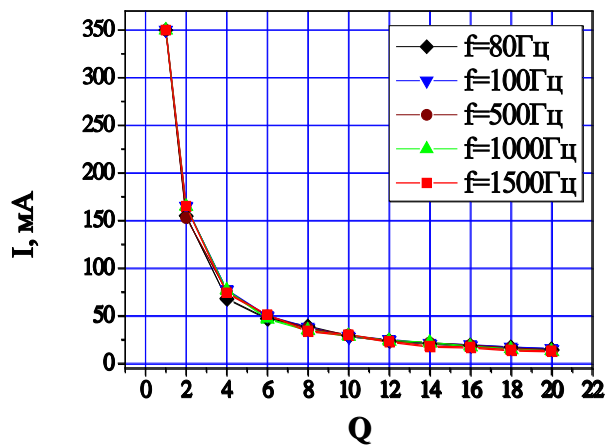


Рис.4. Відповідність величини постійного струму через світлодіод 2 шпаруватості імпульсного струмового сигналу з амплітудою 350 мА через світлодіод 1 при різних частотах цього сигналу (кожна точка на графіку відповідає однаковому світловому потоку обох світлодіодів)

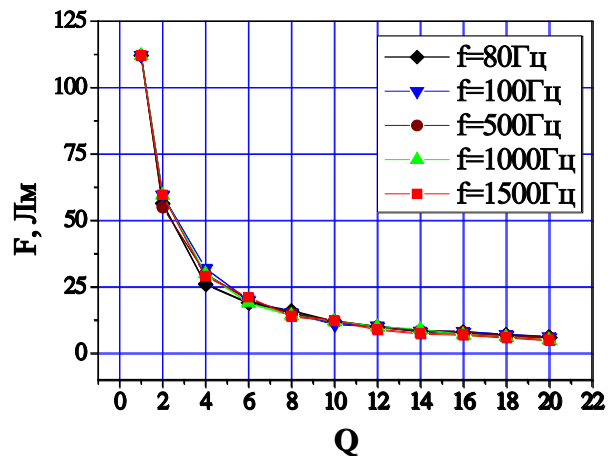


Рис.5. Залежності світлового потоку світлодіода 1 від шпаруватості імпульсів ШІМ амплітудою 350 мА для різних частот

Поведінка груп кривих, наведених на Рис.4 та Рис.5 вказує на подібність залежностей світлового потоку від частоти ШІМ сигналу, виміряних за допомогою спектро радіометра НААС-2000 з інтегруючою сферою, до залежностей, визначених за допомогою візуального фотометру. Для кожного значення шпаруватості ШІМ сигналу світлодіода 1 ми маємо значення постійного струму через світлодіод 2, яке відповідає однаковому візуальному сприйняттю їх яскравості (Рис.4). Для кожного такого значення

постійного струму з даних Рис.2б можна визначити відповідні значення світлових потоків для світлодіодів 1 та 2 і побудувати залежність від шпаруватості, яку зображено на Рис.6. Оскільки залежності на різних значення частоти ШІМ сигналу демонструють аналогічну поведінку, то на Рис.6 приведено залежності тільки для однієї частоти 500Гц.

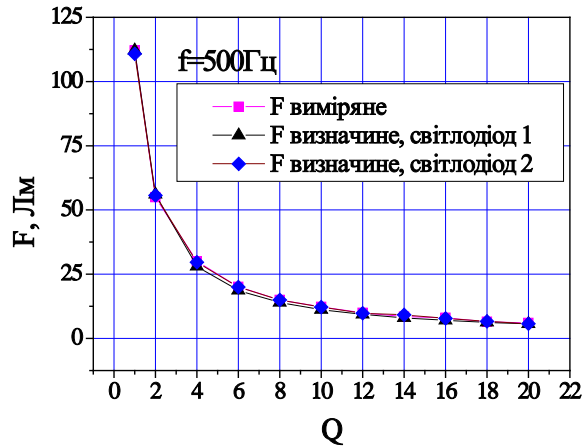


Рис.6. Залежності світлового потоку від шпаруватості ШІМ сигналу для світлодіоду 1, виміряного за допомогою спекроаналізатора, та визначених для світлодіодів 1 та 2 з залежностей струму від шпаруватості

Отриманий результат демонструє, що візуальне сприйняття яскравості оком людини постійного та імпульсного світлового сигналу білого світла пропорційно до світлового потоку та не залежить від значень частот ШІМ сигналу для яких проводились виміри.

Для порівняння енергетичних характеристик керування яскравістю постійним та імпульсним ШІМ-модульованим струмами можна визначити залежність відношення потужностей керування від шпаруватості за інтервал часу (період), при однаковій яскравості в окулярі візуального фотометра, за формулою (1). Для цього значення напруг U_{ac} та U_{dc} визначається з Рис.2а. Отриману залежність показано на Рис. 7.

$$n = \frac{W_{ac}}{W_{dc}} = \frac{I_{ac} \cdot U_{ac} \cdot \tau}{I_{dc} \cdot U_{dc} \cdot T} = \frac{0.350 \cdot U_{ac}}{I_{dc} \cdot U_{dc} \cdot Q} \quad (1)$$

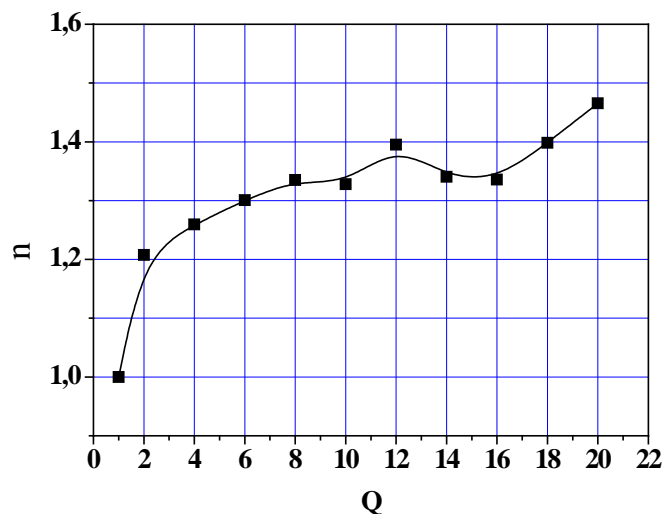


Рис.7. Залежність відношення потужностей керування світлодіода 1 та світлодіода 2 від шпаруватості ШІМ сигналу

З отриманої залежності випливає, що керування ШІМ сигналами є менш енергоефективним в порівнянні з керуванням постійним струмом і енергоефективність при збільшенні шпаруватості зменшується.

ПОРІВНЯЛЬНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ RGB-СВІТЛОДІОДІВ

Для дослідження сприйняття яскравості оком людини постійного та імпульсного світлового сигналу червоного, синього та зеленого кольорів було використано два RGB світлодіоди типу F50360, які застосовуються в екранах, інтелектуальних освітлювальних системах [3] та різних ілюмінаційних системах, де поширене керування за допомогою ШІМ [4]. Як і в експерименті з двома люмінофорними світлодіодами білого кольору, були визначені нормовані спектральні характеристики, залежності струму від напруги та світлового потоку від струму для двох RGB-світлодіодів (Рис.8 та Рис.9)

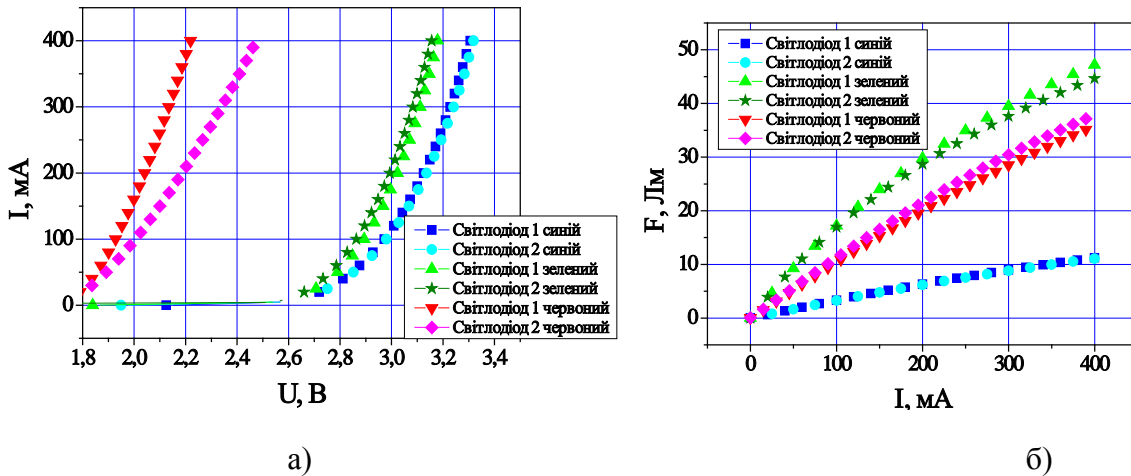


Рис.8. Залежності струму від напруги (а), світлового потоку від струму (б) RGB світлодіодів

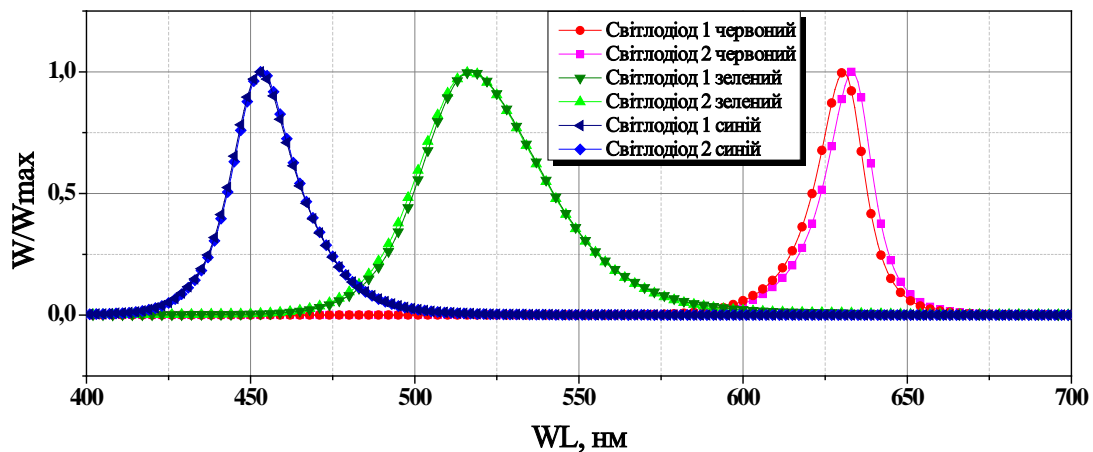


Рис.9. Нормовані спектри випромінювання для RGB світлодіодів 1 та 2

З отриманих даних видно, що найбільша розбіжність у параметрах спостерігається для червоних світлодіодів, яка на струмі споживання 350 мА складає для пікової довжини хвилі випромінювання 3 нм.

Після калібрування установки в режимі порівняння світлових потоків двох світлодіодів за допомогою візуального фотометру ВФМ-57 для кожного з кольорових світлодіодів при однакових величинах світлового потоку експериментально визначена відповідність величини постійного струму через світлодіод 2 шпаруватості імпульсного струмового сигналу амплітудою 350 мА через світлодіод 1 при різних частотах цього сигналу (Рис.10).

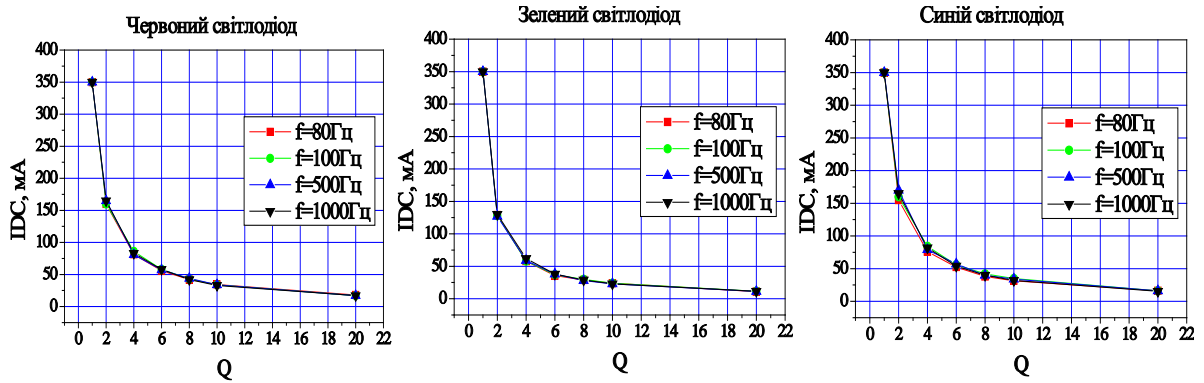


Рис.10. Відповідність величини постійного струму через світлодіод 2 шпаруватості імпульсного струмового сигналу з амплітудою 350 мА через світлодіод 1 при різних частотах цього сигналу (кожна точка на графіку відповідає однаковому світловому потоку обох світлодіодів) для червоного (а), зеленого (б) та синього (в) світлодіодів

В режимі виміру світлового потоку за допомогою спектрорадіометра НААС-2000 з інтегруючою сферою визначені залежності світлового потоку світлодіода 1 від скважності струмового ШІМ сигналу при різних його частотах для червоного, зеленого та синього кольорів (Рис.11).

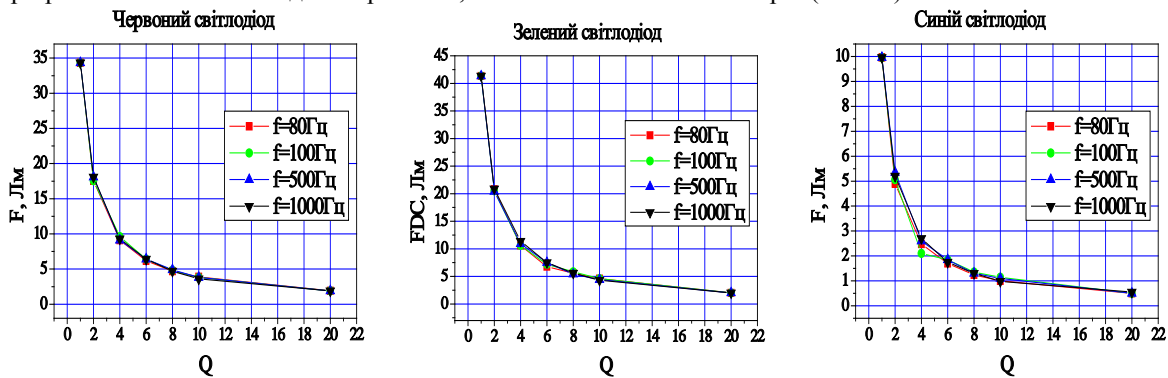


Рис.11. Залежності світлового потоку світлодіода 1 від шпаруватості струмового ШІМ сигналу при різних його частотах для червоного (а), зеленого (б) та синього (в) світлодіодів

Для кожного кольору при різних значеннях шпаруватості ШІМ сигналу світлодіоду 1 існує значення постійного струму через світлодіод 2, яке відповідає однаковому візуальному сприйняттю їх яскравості (Рис.10). Для таких значень постійного струму з даних Рис.8б можна визначити відповідні значення світлових потоків для світлодіодів 1 та 2. Це дозволяє співставити визначенні залежності з вимірними (Рис.11), які зображені на Рис.12.

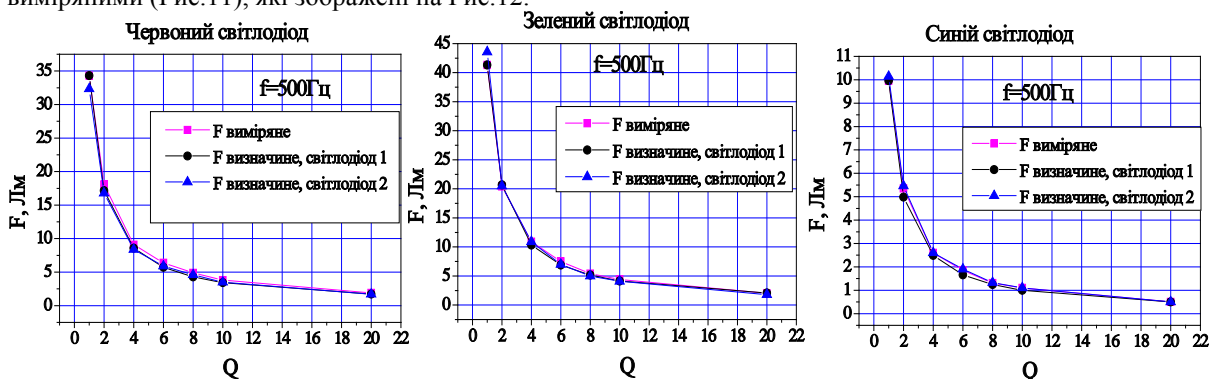


Рис.12. Залежності світлового потоку від шпаруватості ШІМ сигналу, виміряного для світлодіоду 1 та визначених для світлодіодів 1 та 2 для червоного (а), зеленого (б) та синього (в) світлодіодів

Отриманий результат вказує на те, що візуальне сприйняття оком людини яскравості постійного та імпульсного кольорового світлового сигналу аналогічно до сприйняття світлового сигналу білого світла та є пропорційним до світлового потоку і не залежить від значень частот ШІМ сигналу для яких

проводився експеримент.

Порівняння енергетичних характеристик керування яскравістю постійним та імпульсним ШІМ-модульованим струмами для кожного кольору виконано аналогічно як для люмінофорних світлодіодів і отримано залежність відношення потужностей від шпаруватості ШІМ імпульсів, яку показано на Рис. 13.

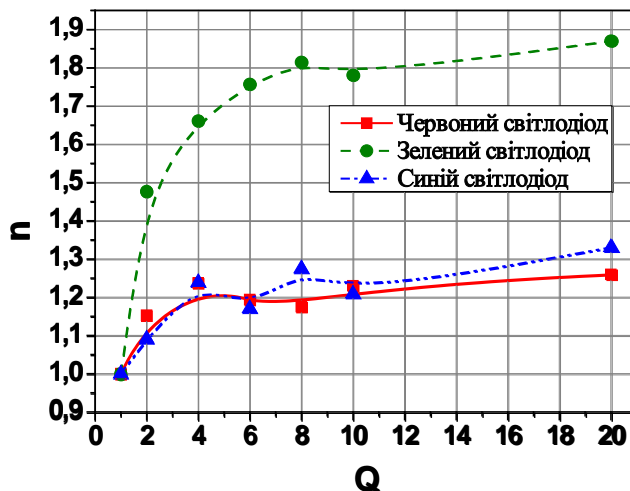


Рис.13. Залежність відношення потужностей керування світлодіодів 1 та 2 для червоного, зеленого та синього світлодіодів від шпаруватості ШІМ сигналу

З Рис.13 видно, що аналогічним люмінофорним світло діодам, керування ШІМ сигналами є менш енергоефективним в порівнянні з керуванням постійним струмом.

ВИСНОВКИ

Ефективність керування люмінофорними та RGB світлодіодами постійним струмом являється вищою від імпульсного, оскільки на ШІМ-модульовані сигнали затрачується більше енергії для досягнення однакової яскравості, яка сприймається людським оком. Тобто реалізація пристроїв на керуванні за допомогою постійного струму будуть завжди ефективніші.

Проведені дослідження також показали, що людське око однаково сприймає інтенсивність пульсуючого світлового сигналу в незалежності від частоти його пульсації, якщо вона більша критичної частоти.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Шуберт Ф.Е. Светодиоды / Ф.Е. Шуберт. – Москва 2008. – 138 с.
2. Энергосберегающие светильники на основе высокоярких светодиодов / А.В. Иванов, А.В. Фёдоров, С.М. Семёнов: Энергообеспечение и энергосбережение региональный аспект XII Всероссийское совещание Материалы докладов 2011. - 74 с.
3. Створення та оптимізація параметрів інтелектуальних освітлювальних систем/ В.І. Корнага, О.С. Олійник, В.М. Сорокін, О.Д. Галинський // Світлотехніка та електроенергетика. – м.Харків, 2013. – № 3-4 (35-36) - 22 с.
4. Considerations of the Driving Electronics of LED Video Display/ Svilainis, L. Information Technology Interfaces, 2007. ITI 2007. 29th International Conference, 431 p.

Надійшла до редакції 14.05.2014р.

КОРНАГА ВАСИЛЬ ІГОРОВИЧ – аспірант, молодший науковий співробітник Інституту фізики напівпровідників ім. В.Є. Лашкарьова Національної академії наук України, Київ, Україна, (044) 525-97-86, E-mail: vasyak1284@gmail.com

РИБАЛОЧКА АНДРІЙ ВОЛОДИМИРОВИЧ – к.т.н., старший науковий співробітник, завідувач структурної науково-дослідної лабораторії Інституту фізики напівпровідників ім. В.Є. Лашкарьова Національної академії наук України, Київ, Україна, (044) 525-97-86, E-mail: andriy.rybalochka@gmail.com

СОРОКІН ВІКТОР МИХАЙЛОВИЧ – д.т.н., професор, замісник директора з наукової роботи Інституту фізики напівпровідників ім. В.Є. Лашкарьова Національної академії наук України, Київ, Україна, (044) 525-57-85, E-mail: vsorokin@isp.kiev.ua