

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
МІСЬКОГО ГОСПОДАРСТВА ІМЕНІ О. М. БЕКЕТОВА**

**МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ
до практичних занять
з дисципліни**

«СВІТЛОВІ ПРИЛАДИ»

*(для студентів 4, 5 курсів денної та заочної форм навчання
напряму підготовки 6.050701 «Електротехніка та електротехнології»
спеціальності «Світлотехніка і джерела світла»)*

**Харків
ХНУМГ
2014**

Методичні вказівки до практичних занять з дисципліни «Світлові прилади» (для студентів 4, 5 курсів денної і заочної форм навчання напряму підготовки 6.050701 «Електротехніка та електротехнології» спеціальності «Світлотехніка і джерела світла») / Харк. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова; уклад.: А. С. Литвиненко, О. М. Ляшенко, Г. О. Петченко. – Х.: ХНУМГ, 2014. – 17 с.

Укладачі: к.т.н., доц. А. С. Литвиненко,
ст. викл. О. М. Ляшенко,
к.ф.-м.н, доц. Г. О. Петченко

Рецензент: д.т.н., проф. Л. А. Назаренко

Методичні вказівки побудовані за вимогами кредитно-модульної системи організації навчального процесу.

Рекомендовано кафедрою «Світлотехніка і джерела світла»,
протокол № 1 від 07.09.2012 р.

ЗМІСТ

	Стор.
ВСТУП	4
ТЕМА 1 Оціночна методика розрахунку світильника на основі світлодіодів	5
ТЕМА 2 Правила підключення світлодіодів	9
СПИСОК ДЖЕРЕЛ	13
ДОДАТКИ	14

ВСТУП

Курс «Світлові прилади» викладається студентам 4 курсу денної і 5 курсу заочної форм навчання напряму підготовки 6.050701 «Електротехніка та електротехнології» спеціальності «Світлотехніка і джерела світла».

У цьому курсі розглядається низка питань, пов'язаних з особливостями проектування світлових приладів, принципом їх дії, конструкції, експлуатацією та обслуговуванням пристроїв; визначаються вимоги до світлових приладів різного функціонального призначення.

У методичних вказівках для практичних занять з цієї дисципліни надається матеріал з основних тем: оціночна методика розрахунку світильника на основі світлодіодів й перелік рекомендацій і правил щодо підключення схем електроживлення світлодіодів. В них розглянуті методики розрахунків зазначених вище елементів і надана рекомендована література, яка є наявною у бібліотеці ХНУМГ або доступна з Інтернету; наведено необхідний мінімум інформації, якою має оволодіти студент на практичних заняттях для надбання навичок елементарних розрахунків світлових приладів на основі світлодіодів, успішного складання іспитів і є основою для поглибленого вивчення курсу при підготовці студентів до дипломного проектування.

ТЕМА 1 Оціночна методика розрахунку світильника на основі світлодіодів

Без систем штучного освітлення важко уявити нормальну життєдіяльність сучасної людини. На сьогодні ринок виробництва світильників на основі світло-випромінювальних діодів (СД) розвивається прискореними темпами, внаслідок чого спостерігається справжній прорив в розробці і виробництві напівпровідникових кристалів.

Переваги СД за світлотехнічними та експлуатаційними характеристиками надають актуальності розробці оптичних систем світлових приладів (СП) на основі світлодіодів з урахуванням їх специфіки і нових можливостей. Відомо, що СП мають виконувати дві основні функції: потрібним чином перерозподіляти світловий потік джерела світла і обмежувати його сліпучу дію. При цьому потрібно мати на увазі, що світлодіод в прикінцевій конструкції в оформленні прозорого корпусу вже має ознаки світлового приладу: лінзи різного типу, призматичні заломлювачі тощо. СД – джерела світла, що випромінюють в одну півсферу простору, і це вимагає особливого підходу до конструювання світлодіодних СП. У даних методичних вказівках як приклад наводиться оцінковий розрахунок світильника для освітлення офісного приміщення. Розрахунок світлодіодних світильників іншого призначення виконується аналогічно.

На сьогодні за різними причинами для більшості потужних СД використовується лише декілька варіантів світлорозподілу. Тому для формування необхідного світлорозподілу СП використовується вторинна лінзова або відбивна оптика.

Переходячи до розрахунку світлодіодного світильника, як і в разі СП з традиційними джерелами світла (ДС), необхідно відразу визначитися з вибором нормованих параметрів. Для установок штучного освітлення норми зобов'язують розробників забезпечити цілу низку якісних і кількісних параметрів. Кількісні параметри нормують значення мінімальної або середньої освітленості та енергоспоживання. До параметрів якості залежно від типу приміщення відносяться показник засліпленості, коефіцієнт пульсації, циліндрична освітленість і показник дискомфорту.

Метою нормування освітлення є створення світлового середовища, що забезпечує комфортну і безпечну трудову діяльність, безпечне пересування транспорту і пішоходів, здійснення технологічних процесів і нормальне функціонування систем відеоспостереження тощо. Разом з цим, нормування штучного і природного освітлення забезпечує ефективне використання електричних ресурсів і ресурсів зовнішнього світлового клімату.

При розробці і розрахунку СП необхідно визначитися також зі завданнями щодо освітлення, а саме, яке значення освітленості слід досягти на нормованій поверхні, наприклад офісного столу, підлоги спортивного залу (що істотно залежить від функціонального призначення залу і типу заходів, що проводяться), в складському приміщенні тощо (див. табл. 1 Додатку).

Після визначення необхідного рівня освітленості виникає спокуса використовувати найбільш яскраві світлодіоди. Проте всі вони мають холодні відтінки, що не

завжди є припустимим (особливо в освітлювальних приладах громадських і житлових будівель) із-за необхідності забезпечення психофізіологічного комфорту. Це відчуття викликається колірними характеристиками ДС – колірною температурою і індексом передачі кольорів Ra. Згідно стандарту МКО (міжнародна комісія з освітлення), всі джерела світла підрозділяють на три групи по кольоровості випромінювання: теплі: $T < 3000 \text{ K}$; середні (нейтральні): $T = 3300\text{-}5300 \text{ K}$; холодні: $T > 5300 \text{ K}$.

За ступенем якості передачі кольорів джерела світла класифікуються на чотири групи, з яких за стандартом МКО для застосування в громадських будівлях допускаються тільки наступні три:

Ступінь 1 відмінний

1A Ra = 90-100.

1B Ra = 80-89.

Ступінь 2 хороший

2A Ra = 70-79.

2B Ra = 60-69.

Ступінь 3 задовільний

3 Ra = 40-59.

Залежність між колірною температурою джерела світла і комфортним рівнем освітленості наведена в номограмі Крюїтгофа на рис. 4 Додатку. У загальному випадку цією залежністю можна користуватися при виборі кольоровості світлодіода. При цьому необхідно врахувати колірну обробку приміщення, яка у значній мірі формує фінальне світлове середовище.

Необхідно також визначитися з нормою значення освітленості; наприклад, мінімальна освітленість робочої площини офісного столу за європейськими нормами має складати 500 лк, а колірна температура – 3500...5000 К.

Тепер, коли ми встановили значення освітленості на поверхні робочого столу, треба визначити, яку кількість світлодіодів слід встановити в світильник, і в якому режимі вони мають працювати. У даний час світловий потік необхідної кількості світлодіодів дуже часто прив'язують до світлового потоку вже використовуваних ламп, таких як ДРЛ, МГЛ, ЛР. Цей підхід є невірним з багатьох причин. Перша і основна з них полягає в тому, що світлодіод, на відміну від лампи, випромінює спрямовано в одну півсферу, тоді як решта всіх джерел є більш-менш ізотропними з деякими допущеннями. Для перерозподілу світлового потоку в просторі і збільшення ККД світильника застосовують рефлектори. У результаті ККД освітлювальних установок (ОУ) коливається у великому діапазоні – 30-75%, унаслідок великих втрат на перевідбиття випромінювання усередині світильника. Тому при розробці світильника правильніше відштовхуватися від забезпечуваного ним значення освітленості на поверхні або від реального світлового потоку і кривої сили світла (КСС) світильника, на заміну якому повинен прийти новий, а не від світлового потоку вживаних раніше в ньому

ламп. Кожен світлодіод має такі характеристики, як світлова віддача, максимальний робочий струм, колірна температура, тепловий опір, максимальна температура р-п-перехода тощо. Виберемо світлодіод XP-GX нейтрального білого кольору від одного з лідерів індустрії напівпровідникових джерел світла – компанії Cree. Цей світлодіод відрізняється одними з кращих характеристик – світловим потоком 136 лм при 350 мА, світловою віддачею до 139 лм/Вт, робочим струмом до 1000 мА, низьким падінням напруги 3...3,3 В і тепловим опором всього 6 °С/Вт. Робоче місце в офісі обмежене робочим столом, освітленість на поверхні якого повинна досягати 500 лк. Оточення може бути освітлене набагато менш інтенсивно (200 лк). Таке локалізоване освітлення дозволяє значно економити електроенергію. У загальному випадку робоче місце укладається в плямі діаметром 2 м. Кут випромінювання світлодіода XP-G складає 125°, при якому світловий пучок з відстані 2 м має діаметр близько 8 м, що, поза сумнівом, є дуже великим значенням, при якому створюється рівномірне освітлення, не вигідне ні з енергетичної, ні з економічної точок зору. Для трансформації світлового жмутка необхідно застосувати вторинну оптику, яка створить на рівні робочої поверхні 0,7-0,8 м від підлоги при висоті стелі 3 м світлову пляму діаметром близько 2 м і дозволить зменшити загальну кількість СД. Наприклад, лінзи виробництва фінської компанії Ledil з круглим (LXP-G) або квадратним (СХР-G) профілем з кутом половинної яскравості 46° (див. рис. 2 Додатку) дозволяють добре виконати це завдання. Середню освітленість поверхні можна визначити як відношення падаючого світлового потоку на поверхню до її площі, звідки необхідний світловий потік:

$$\Phi = E_{зр} A = E_{зр} \pi [h \operatorname{tg}(\alpha/2)]^2, \quad (1)$$

де h – відстань від робочої поверхні до висоти установки світильника;
 α – кут половинної яскравості вторинної оптики.

Після підставлення у формулу наведених раніше даних, отримаємо значення світлового потоку, що припадає на робочу площину, близько 1500 лм. Щоб довести цю величину до необхідної кількості світлодіодів, слід врахувати декілька чинників, а саме:

- нелінійну залежність світлового потоку СД від прямого струму;
- падіння світлового потоку СД із зростанням температури;
- поглинання і розсіяння випромінювання вторинною оптикою.

Оберемо робочу точку СД типу XP-G на рівні 700 мА, що складає 70% від максимального робочого значення. У такому режимі світлодіод працюватиме в 2-Вт режимі (точніше, 2,24 Вт), а світловий потік одного світлодіода досягне 241 лм (див. рис. 6 Додатку). Необхідно пам'ятати, що ці значення дійсні при температурі р-п-перехода 25 °С, що при експлуатації в реальних умовах неможливо. Світлодіод при проходженні через нього електричного струму неминуче нагрівається за рахунок внутрішнього опору і вимагає охолодження для нормальної роботи. Виробники регламентують різну максимальну робочу температуру р-п-перехода (в основному, 125...150 °С). Вибір робочої температури припускає комплексне рішення між нижчою

температурою, а значить, збільшеною світловою віддачею і терміном служби, а також витратами на охолодження. Дивлячись на типову залежність терміну служби потужних освітлювальних світлодіодів Cree (див. рис. 7 Додатку) видно, що регламентований термін служби 50 тисяч годин при падінні випромінюваного світлового потоку на 30% досягається при температурі переходу 90 °С. При цій температурі світловий потік унаслідок нагріву кристала знизиться на 14,5% і складе 206 лм. Так, наприклад, при температурі переходу 110 °С падіння світлового потоку відносно 25 °С складе 19,1%, і його величина складе 195 лм.

Наступний елемент, що безпосередньо впливає на світловий потік світильника, – вторинна оптика. У її виробництві використовується оптично ефективний поліметил-метакрилат, а виробник регламентує пропускання оптики на рівні 90%, тому застосування лінз для формування необхідної плями розсіяння знизить світловий потік світлодіода до 185 лм.

Врахувавши ці чинники, а також те, що у куті половинної яскравості 46° на рівні 0,5 лінзи Sxp-w FA10708 Ledil (див. рис. 5 Додатку) концентрується близько 70% всього світлового потоку світлодіода (у значній мірі залежить від оптики), можна обчислити кількість СД, необхідних для створення на робочій поверхні освітленості на рівні 500 лк. Останні 30% забезпечать освітлення навколишнього простору.

Таким чином, для вирішення нашого завдання досить 12 світлодіодів XP-G, які випромінюють світловий потік 185 лм з урахуванням всіх чинників, що ослабляють його. Ці діоди працюють на струмі 700 мА при температурі р-п-перехода 90°С в комплекті з вторинною оптикою Sxp-w FA10708 Ledil, що забезпечує кут половинної яскравості 46°. Споживана потужність такого світильника складе 27 Вт. Вона збільшиться на 10-40% залежно від використаного джерела живлення, ККД якого відрізняється в широких межах. До його вибору не слід відноситися поверхнево, оскільки джерело струму з високим значенням ККД забезпечить енергоекономічність виробу, а не зведе всі переваги світлодіодного освітлення практично нанівець.

Підтримку заданої робочої температури переходу слід забезпечити радіатором, який зможе ефективно відводити тепло, що виділяється світлодіодами при температурі навколишнього середовища 30...35 °С. Вже задавшись граничною температурою р-п-перехода, за формулою

$$T_{p-n} = T_a + R_{Tp} P \sum (1 - \eta) + (R_{TLED} + R_n) P_{LED} (1 - \eta) \quad (2)$$

отримуємо вираз для значення теплового опору радіатора:

$$R_{Tp} = T_{p-n} - T_a - (R_{TLED} + R_n) P_{LED} (1 - \eta) / P \sum (1 - \eta), \quad (3)$$

де T_{p-n} – вибрана температура р-п-перехода;

T_a – розрахункова робоча температура оточуючого середовища;

R_{TLED} – тепловий опір СД;

R_n – тепловий опір переходу «точка спаювання – друкована плата – радіатор», що звичайно складає 0,2...0,5 °С/Вт;

P_{LED} – потужність, що надходить до СД і визначається як $P_{LED} = U \cdot I$;
 η – ККД СД.

На сьогодні в типових номенклатурних одиницях він вже практично наблизився до 45%. При температурі переходу 90 °С ККД знизиться, тому для розрахунку треба приймати дещо збільшене значення $\eta = 0,25$; P_{Σ} – сумарна потужність, яка визначається за формулою

$$P_{\Sigma} = U \cdot I \cdot n,$$

де n – кількість СД.

Підставивши приведені вище дані, отримаємо розрахункове значення теплового опору радіатора близько 2 °С/Вт.

Наведена методика розрахунку є оцінковою, проте цілком дозволяє визначитися при виборі засобів освітлення. У цілому, розрахунок світлодіодного світильника схожий на розрахунок звичайного, але слід взяти до уваги ті особливості, якими відзначається нове напівпровідникове джерело світла.

ТЕМА 2 Правила підключення світлодіодів

Основною характеристикою світлодіода є залежність яскравості світіння від рівня струму, що протікає через світлодіод. Якісно ця характеристика збігається з вольт-амперною характеристикою. На рис. 1 наведені типові вольт-амперні характеристики світлодіода (а) і залежність сили світла від струму (б).

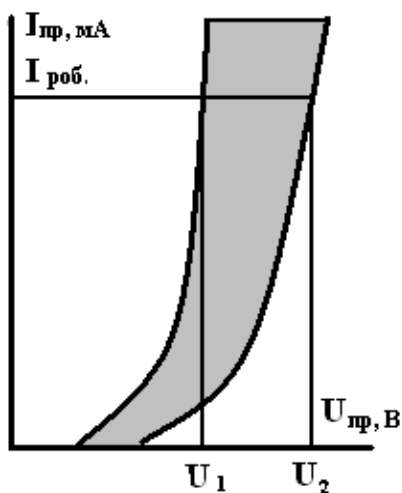


Рис. 1а – Вольт-амперна характеристика СД (показані зони розкиду)

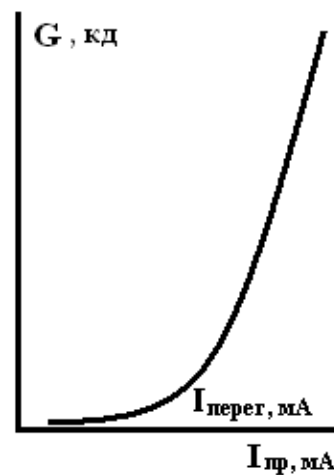


Рис. 1б – Типова залежність сили світла від струму

На графіку, що описує залежність сили світла від величини струму виділяють дві області: нелінійна зона малих струмів, що характеризується швидким зростанням напруги на світлодіоді і малим рівнем свічення, і практично лінійна робоча зона. У робочій точці напруга на світлодіоді змінюється несуттєво.

Всі світлодіоди мають один головний електричний параметр, при якому забезпечується його нормальна робота. Це струм (I), що протікає через світлодіод. Світлодіод не можна назвати двох- або трьохвольтовим. Технологія виготовлення кристалів не дозволяє зробити два світлодіоди з однаковим, так званим, «внутрішнім опором». Через світлодіод треба пропустити струм (згідно з заводськими параметрами) і виміряти напругу на його кінцівках. Ця напруга і буде забезпечувати протікання потрібного струму через кристал світлодіода. Але за звичай виробник вказує середню напругу для партії світлодіодів при оптимальному струмі. І ніхто не займається точним підбором струму для кожного світлодіода. У таблиці 2 Додатку наведені приблизні напруги світлодіодів в залежності від кольору.

Аналізуючи вольт-амперну характеристику світлодіода бачимо, що із-за розкидів її характеристик при деякому постійному струмі, що протікає через світлодіод, падіння напруги на світлодіоді має розкид (що зазвичай не перевищує 10%). При зміні температури навколишнього середовища падіння напруги на світлодіоді змінюється.

Тому для стабілізації робочих характеристик світлодіода необхідно підтримувати постійну величину струму, що протікає через нього. Це обумовлено тим, що завдання стабілізації напруги в робочій точці надзвичайно складне.

Стабілізація робочого струму через світлодіод здійснюється зовнішніми елементами, простішим з яких є постійний резистор, включений послідовно зі світлодіодом. Використання активних систем стабілізації приводить до істотного дорожчання схеми, хоча і дає кращі результати. При розробці схем живлення і управління світлодіодами, що працюють в стаціонарних умовах, потрібно враховувати такі чинники, як складність і вартість керуючої схеми, її ККД, а також можливість компенсації температурної залежності інтенсивності випромінювання світлодіодів.

Найпростішою схемою управління світлодіодами є джерело постійної напруги: батарея або трансформатор з випрямлячем на виході. Всі схеми живлення світлодіодів постійною напругою володіють двома недоліками. По-перше, залежність струму, що протікає через діод, від напруги носить експоненціальний характер. Тому незначні зміни напруги, що управляє, призводять до серйозних змін струму. По-друге, порогова напруга діода залежить від температури. Тому будь-які зміни температури викликають сильні зміни струму.

На рис. 2 показані вольт-амперні характеристики світлодіодів, що працюють від джерела постійної напруги. Видно, що послідовне включення діода з резистором знижує температурну чутливість струму, що протікає через діод. При такому способі включення світлодіода температурний коефіцієнт струму, що протікає через нього, визначається величиною послідовного опору і температурними характеристиками самого діода.

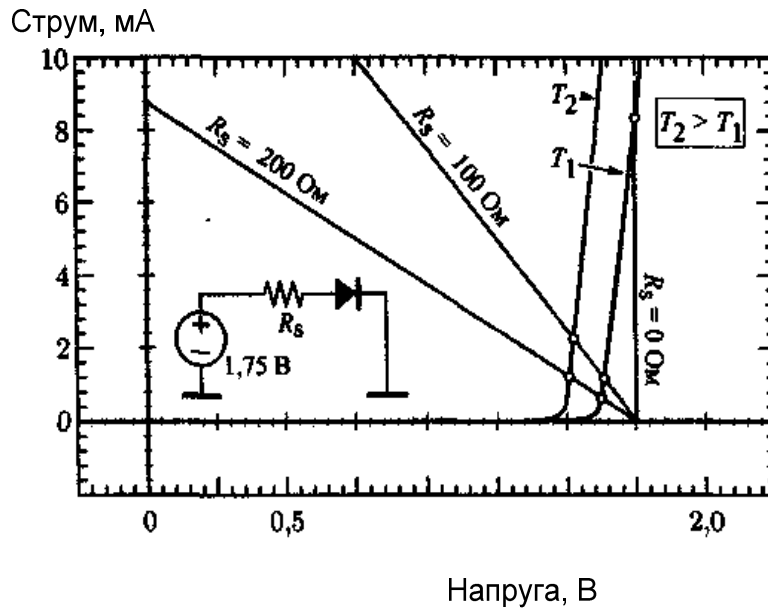


Рис. 2 – Схема живлення світлодіодів з послідовним опором R_S

Робочими вважаються точки перетину ліній навантажень з вольт-амперними характеристиками. Наявність в схемі невеликих опорів R_S призводить до зростання струму через діод при підвищенні температури, що дозволяє компенсувати зниження інтенсивності випромінювання.

Інтенсивність випромінювання світлодіодів із-за безвипромінювальної рекомбінації із зростанням температури знижується. При збільшенні температури знижується і величина порогової напруги. Для зменшення температурної залежності інтенсивності випромінювання світлодіодів застосовують джерела постійної напруги з послідовно включеними резисторами. Як видно з рис. 2, в таких схемах при збільшенні температури струм, що протікає через діод, збільшується, тобто відбувається компенсація зниження інтенсивності випромінювання, викликаного зростанням температури. Але тут слід зазначити, що при використанні послідовного опору зменшується ефективність перетворення електричної енергії в світлову, оскільки частина електричної потужності втрачається на резисторі.

Температурна залежність інтенсивності випромінювання світлодіодів особливо актуальна в тих випадках, коли світлодіоди експлуатуються поза приміщеннями. Наприклад, в жаркі літні дні температура і освітлення досить високі, а в умовах підвищеної зовнішньої освітленості світлодіоди повинні світитися яскравіше. Проте інтенсивність випромінювання світлодіодів із зростанням температури, навпаки, знижується. Для компенсації зниження інтенсивності випромінювання, а також для її деякого збільшення при підвищенні температури необхідно збільшувати струм.

Режим живлення постійним струмом є найбільш бажаним, тому що для його здійснення немає потреби у спеціальних пристроях (генераторах).

СД підключають до джерела живлення через струмозадаючий резистор. Опір цього резистора визначається з виразу

$$R = (U_{\text{ДЖ}} - U_{\text{СД}})/I_{\text{Н}}, \quad (4)$$

де $U_{\text{ДЖ}}$ – напруга джерела живлення;

$U_{\text{СД}}$ – спадання напруги на СД, значення якого коливається від 1,0 В до 3,7 В;

$I_{\text{Н}}$ – номінальний струм СД.

Напруга на резисторі перетвориться в тепло. Для того, щоб резистор витримав навантаження, а тепло не призвело до виходу його з ладу, необхідно визначити розсіювану резистором потужність за формулою

$$P = U_{\text{R}} \cdot I_{\text{Н}}, \quad (5)$$

де U_{R} – падіння напруги на резисторі ($U_{\text{R}} = U_{\text{ДЖ}} - U_{\text{СД}}$).

Припустиме послідовне включення декількох світлодіодів із загальним елементом стабілізації струму (резистором). Такий елемент називають кластером.

На рис. 3 наведені схеми електроживлення світлодіодів.

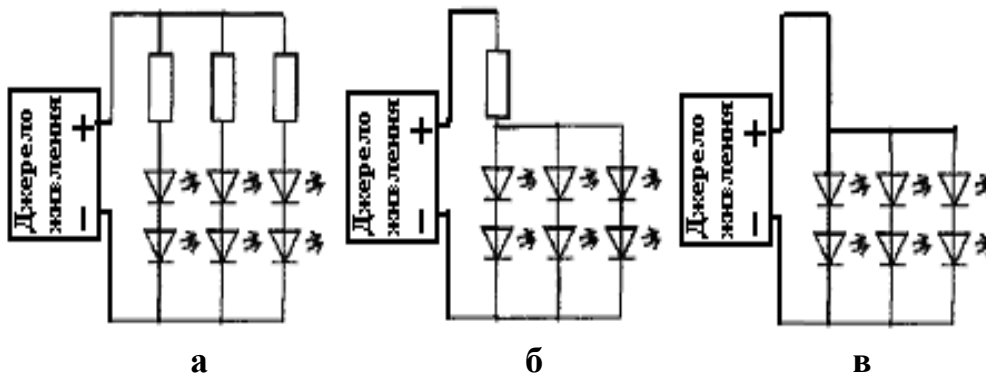


Рис. 3 – Схема електричного живлення СД:

а – правильна схема підключення до загального джерела електроживлення декількох ланцюгів (кластерів); б, в – невірні варіанти підключень

При послідовному включенні декількох світлодіодів формула розрахунку не міняється. Проте замість падіння напруги на одному світлодіоді $U_{\text{СД}}$, у формулі слід підставити суму падінь напруги кожного зі світлодіодів. Звідси витікає наступне. При послідовному включенні всі світлодіоди повинні бути розраховані на однаковий номінальний струм, проте номінальне падіння напруги цих світлодіодів може бути різним.

Приклад: Підключаємо послідовно червоний і білий СД до джерела живлення 12 В. При цьому обидва СД мають номінальний струм 20 мА. Падіння напруги на першому – 2 В, на другому – 3,2 В (див. табл. 2). Використовуючи формулу

$$R = (U_{\text{ДЖ}} - U_{\text{СД1}} - U_{\text{СД2}})/I_{\text{Н}}$$

і, підставляючи відповідні значення, знаходимо опір навантаження

$$R = 340 \text{ Ом.}$$

Потужність використаного резистора повинна бути не менше 0,14 Вт.

СПИСОК ДЖЕРЕЛ

1. Справочная книга по светотехнике / Под ред. Ю. Б. Айзенберга. 3-е изд. перераб. и доп. – М.: Знак. – 972 с.
2. А. Балашов. Типовая методика расчета светильника на основе светоизлучающих диодов // Современная светотехника. – 2010. – № 1.
3. Г. О. Петченко, О. М. Ляшенко. Розрахунок профілю круглосиметричного дзеркального відбивача світлового приладу з регламентованим світлорозподілом // методичні вказівки до виконання курсової роботи з дисципліни «Світлові прилади». – Х.: ХНАМГ. – 2008.
4. Трёмбач В. В. Световые приборы. – М.: Высшая школа, 1990.
5. Фред Е. Шуберт. Светодиоды. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2008.

ДОДАТКИ

Таблиця 1 – Вимоги до спектрального складу джерел світла для освітлення житлових та промислових споруд

Приміщення	Характеристика зорової роботи за вимогами до роздільної здатності щодо відрізняння різних кольорів	Освітленість, лк	Мінімальний індекс кольоропередачі	Інтервал колірної температури
Магазини тканин й одягу	<i>Високі вимоги до розрізнення кольорів</i>	<i>від 300 до 500</i>	90	3500..6000
Художні майстерні, лабораторії	<i>Високі вимоги до розрізнення кольорів</i>	<i>300..500 150..300</i>	85 85	3500..5000 3500..4500
Торгівельні зали, їдальні, спортзали	<i>Невисокі вимоги до розрізнення кольорів</i>	<i>300..500 150..300 Менш ніж 150</i>	55 50 50	3500..5000 3000..4500 2700..3500
Ліфти, архівні й робочі кімнати	<i>Вимог немає</i>	<i>Менш ніж 100</i>	45	3000..3500

Таблиця 2 – Таблиця зразкових падінь напруги на світлодіодах залежно від кольору

Колірна характеристика СД	Довжина хвилі	Падіння напруги
Інфрачервоні	<i>від 760 нм</i>	<i>до 1.9 В</i>
Червоні	<i>610 - 760 нм</i>	<i>від 1.6 до 2.03 В</i>
Помаранчові	<i>590 - 610 нм</i>	<i>від 2.03 до 2.1 В</i>
Жовті	<i>570 - 590 нм</i>	<i>від 2.1 до 2.2 В</i>
Зелені	<i>500 - 570 нм</i>	<i>від 2.2 до 3.5 В</i>
Сині	<i>450-500 нм</i>	<i>від 2.5 до 3.7 В</i>
Фіолетові	<i>400 - 450 нм</i>	<i>від 2.8 до 4 В</i>
Ультрафіолетові	<i>до 400 нм</i>	<i>від 3.1 до 4.4 В</i>
Білі	<i>Широкий спектр</i>	<i>від 3 до 3.7 В</i>

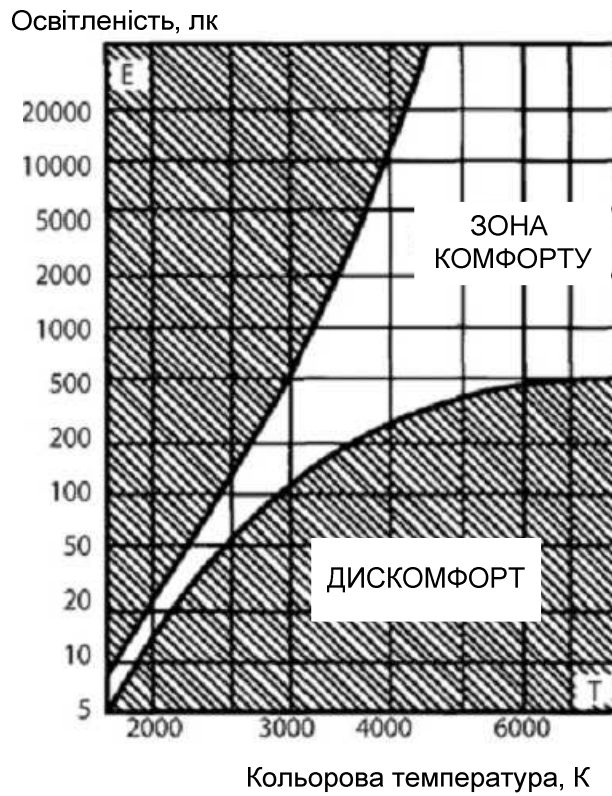


Рис. 4 – Залежність комфортного рівня освітленості від кольорової температури джерела світла

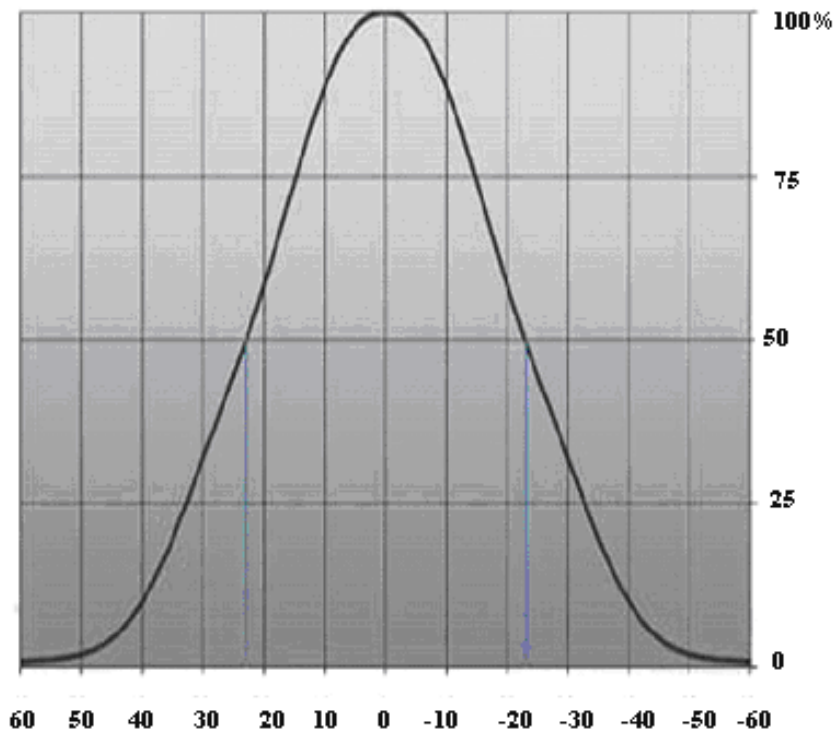
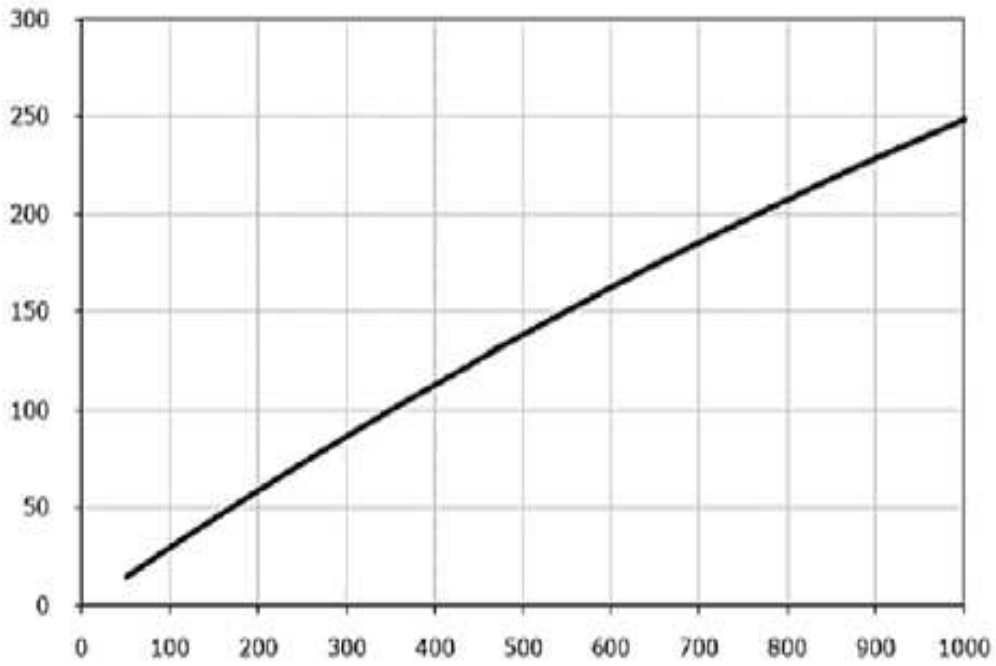


Рис. 5 – Розподіл інтенсивності лінзи CXP-W FA10708 Ledil

Світловий потік, лм



Прямий струм, мА

Рис. 6 – Залежність світлового потоку СД від прямого струму

Світловий потік, в.о.

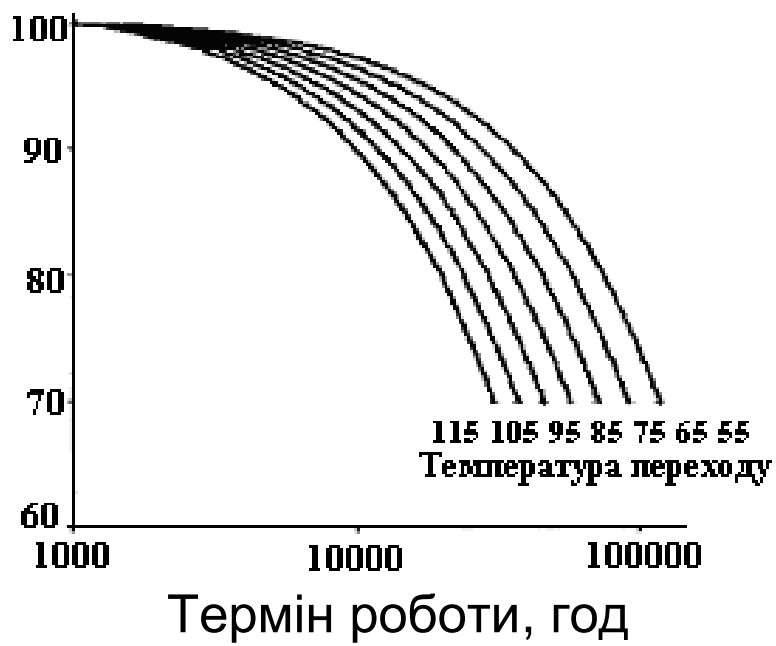


Рис. 7 – Залежність терміну роботи СД СД від температури р-п-переходу

НАВЧАЛЬНЕ ВИДАННЯ

Методичні вказівки
до практичних занять
з дисципліни

«СВІТЛОВІ ПРИЛАДИ»

(для студентів 4, 5 курсів денної і заочної форм навчання
напряму підготовки 6.050701 «Електротехніка та електротехнології»
спеціальності «Світлотехніка і джерела світла»)

Укладачі: к.т.н., доц. **ЛИТВИНЕНКО** Анатолій Савелійович,
ст. викл. **ЛЯШЕНКО** Олена Миколаївна,
к.ф.-м.н, доц. **ПЕТЧЕНКО** Гліб Олександрович

Відповідальний за випуск *Г. О. Петченко*
За авторською редакцією
Комп'ютерне верстання *Г. О. Павлова*

План 2012, поз. 304 М

Підп. до друку 26.09.2012 р.

Формат 60×84/16

Друк на ризографі.

Ум. друк. арк. 0,9

Зам. №

Тираж 50 пр.

Видавець і виготовлювач:
Харківський національний університет
міського господарства імені О. М. Бекетова,
вул. Революції, 12, Харків, 61002
Електронна адреса: rectorat@kname.edu.ua
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи:
ДК № 4705 від 28.03.2014 р.