

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

К. І. Іоффе, О. Л. Черкашина

КОНСПЕКТ ЛЕКЦІЙ

з дисципліни

«СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ СВІТЛОТЕХНІЧНИМИ ПРИСТРОЯМИ»

*(для магістрів денної і заочної форм навчання спеціальності
141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка
(спеціалізація «Світлотехніка і джерела світла»))*

Харків – ХНУМГ ім. О. М. Бекетова – 2018

Іоффе К. І. Конспект лекцій з дисципліни «Системи керування світлотехнічними пристроями» (для магістрів денної і заочної форм навчання спеціальності 141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка (спеціалізація «Світлотехніка і джерела світла»)) / К. І. Іоффе, О. Л. Черкашина; Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова. – Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2018. – 57 с.

Автори канд. техн. наук К. І. Іоффе,
канд. фіз.-мат. наук О. Л. Черкашина

Рецензент канд. техн. наук, доц. А. С. Литвиненко

*Рекомендовано кафедрою світлотехніки та джерел світла,
протокол № 2 від 30 вересня 2016 р.*

ЗМІСТ

ПЕРЕДМОВА.....	4
ЗМІСТОВИЙ МОДУЛЬ 1 КЕРУВАННЯ ОСВІТЛЕННЯМ.....	5
Тема 1 Управління освітленням. Способи і засоби управління освітленням.....	5
Тема 2 Системи управління освітленням.....	11
Тема 3 Принципи керування джерелами світла. Димірування світла.....	19
Тема 4 Світлодіоди. Принципи керування світлодіодними системами....	24
ЗМІСТОВИЙ МОДУЛЬ 2 ІНТЕЛЕКТУАЛЬНІ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ОСВІТЛЕННЯМ.....	34
Тема 5 Системи аналогового та цифрового керування освітленням.....	34
Тема 6 Протоколи управління світловими приладами	38
Тема 7 Системи інтелектуального управління освітленням.....	47
СПИСОК РЕКОМЕНДОВАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	55

ПЕРЕДМОВА

Предметом вивчення навчальної дисципліни є теорія проектування систем керування світлотехнічними пристроями при розробці освітлювальних установок з метою створення світлотехнічних систем з підвищеними світлотехнічними та функціональними характеристиками.

Метою викладання навчальної дисципліни «Системи керування світлотехнічними пристроями» є формування знань щодо основних видів та принципів керування системами освітлення; оволодіння елементною базою та типами керуючих сигналів щодо використання у системах керування освітленням та світлотехнічними пристроями; ознайомлення з системами аналогового та цифрового керування освітленням.

Основними завданнями вивчення дисципліни «Системи керування світлотехнічними пристроями» є формування у студентів належного рівня знань щодо керування освітленням; надбання навичок використання теорії автоматичного керування при проектуванні освітлювальних установок та вирішенні питань керування зовнішнім та внутрішнім освітленням; оволодіння принципами побудови систем керування, в тому числі сценічним освітленням та приладів, які використовують для створення світлових шоу.

В результаті вивчення предмета студенти повинні знати:

- класифікацію систем управління освітленням;
- принципи дії автоматичних систем управління освітленням;
- основні протоколи управління;
- сферу застосування систем керування світлотехнічними пристроями.

Програма навчальної дисципліни складається з таких змістових модулів (ЗМ): ЗМ 1 Керування освітленням; ЗМ 2 Інтелектуальні системи керування освітленням.

ЗМІСТОВИЙ МОДУЛЬ 1 КЕРУВАННЯ ОСВІТЛЕННЯМ

ТЕМА 1 Управління освітленням.

Способи і засоби управління освітленням

Правильно вибрана і здійснена система управління освітлювальними мережами призводить до більше організованого використання освітлювальної установки (ОУ), що покращує умови освітлення і тим самим призводить до підвищення продуктивності праці, зниження браку вироблюваної продукції і зменшення виробничого травматизму.

Управління освітлювальними мережами – складне технічне завдання, від рішення якого багато в чому залежать умови експлуатації ОУ, здійснення керування освітленням, а також створення передумов для раціонального витрачання електроенергії.

Раціональна система управління освітленням дозволяє істотно понизити витрат електроенергії на освітлення і здійснює включення або відключення освітлювальних приладів за наступних умов:

- залежно від рівня природної освітленості приміщень (наприклад, по сигналах фотореле);
- по досягненню певного часу доби (наприклад, по сигналах таймерів);
- при натисненні людиною кнопок управління (наприклад, входячи в під'їзд, людина натискає кнопку, яка дає сигнал на включення освітлення; відключення освітлення здійснюється автоматично через заданий інтервал часу);
- при появі сигналів від датчиків присутності.

Управління освітленням залежно від місця розташування пунктів управління може бути **місцевим** або **дистанційним**.

При місцевій системі управління включення і виключення освітлення робляться комутаційними апаратами (вимикачами, рубильниками або автоматами), встановленими в кожному з освітлюваних приміщень або на кожній з освітлюваних ділянок відкритої території.

При централізованій дистанційній системі управління усе управління освітленням зосереджене в одному або декількох місцях, наприклад на центральному диспетчерському пункті (ЦДП).

Централізоване дистанційне керування ділиться на дві системи управління. Якщо на освітлюваному об'єкті уся ОУ живиться від розподільного щита окремими лініями, то можливо централізовано управляти з пунктів живлення (ПП) усім освітленням об'єкта безпосередньо комутаційними апаратами, що встановлені на цих лініях. Така схема живлення освітлювальних мереж зустрічається зазвичай тільки на невеликих промислових об'єктах і в різних адміністративних, учбових, лікувальних і інших аналогічних будівлях.

На великих об'єктах ОУ живиться окремими лініями від розподільних пристроїв різних підстанцій. В цьому випадку для можливості здійснення централізованого дистанційного керування на кожній з освітлювальних ліній встановлюються блоки або ящики управління, дистанційне керування якими зосереджується в одному або декількох пунктах управління (наприклад, ЦДП).

Так само як і при системі місцевого управління, комутаційні апарати

централізованого дистанційного керування можуть включатися і відключатися вручну або за допомогою автоматів.

Таким чином, можливе управління: **місцеве індивідуальне і групове; централізоване дистанційне** з розподільного щита пунктів живлення (ПП) – за допомогою комутаційних апаратів, встановлених на освітлювальних лініях, що відходять, і централізоване дистанційне з пунктів управління (ПУ) – за допомогою проміжних пристроїв управління (або пристроїв, що керують струмом певної напруги контакторів або магнітних пускачів). На рисунку 1.1 схематично наведено можливі варіанти управління мережами освітлення.

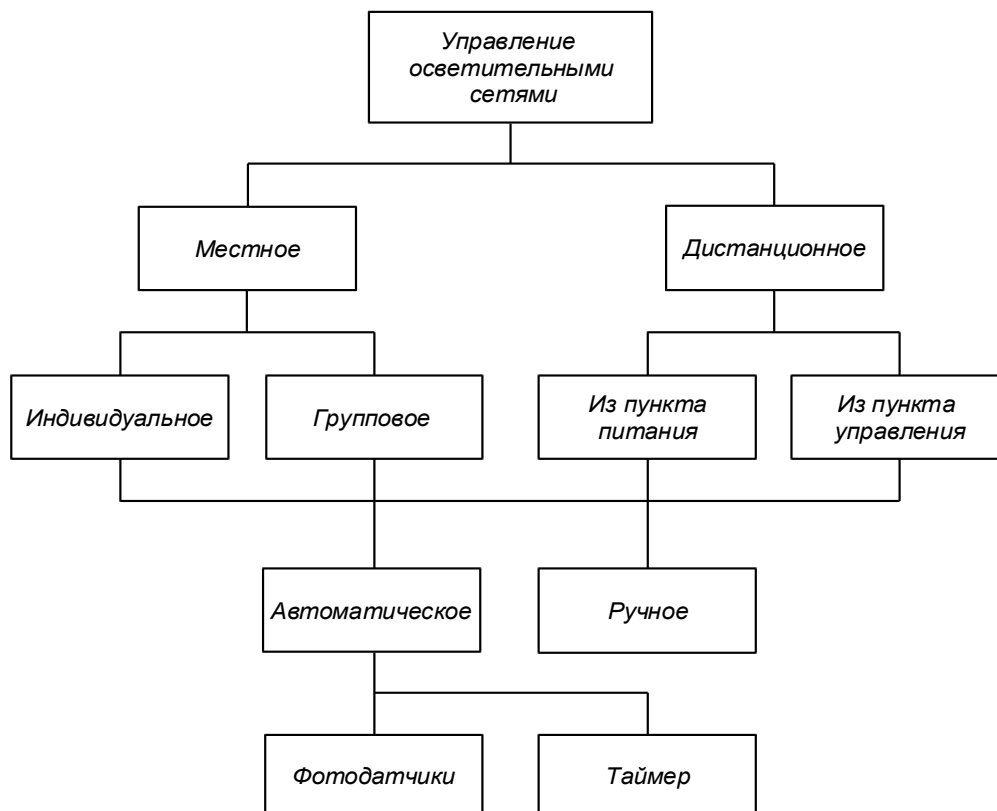


Рисунок 1.1 – Управління мережами освітлення

При місцевому груповому управлінні кожним комутаційним апаратом управляється не один, а група світильників або прожекторів.

Таким чином, залежно від способу управління за допомогою місцевих комутаційних апаратів управління може бути **ручним** або **автоматичним**.

При ручному управлінні включення і виключення освітлення робляться, коли це необхідно, безпосередньо обслуговуючим персоналом.

Основні засоби управління освітленням

Включення і виключення окремих світильників або груп світильників робляться вимикачами, автоматами або рубильниками. При дистанційному керуванні освітленням застосовуються додатково магнітні пускачі або контактори, автомати і реле, різноманітні блоки управління. Для контролю за виконанням команд з пунктів управління встановлюються сигнальні лампи. Мережі управління виконуються кабелями і дротами.

Вимикачі і перемикачі. Залежно від роду захисту від дії довкілля вимикачі і перемикачі виготовляються у відкритому, захищеному і герметичному (пиле-вологозахищеному) виконаннях.

Вимикачі і перемикачі у відкритому виконанні застосовуються при установці на панелях щитів, в закритих розподільних пристроях (шафах, щитках, ящиках); у захищеному виконанні – на стінах, колонах і інших будівельних конструкціях приміщень з нормальними умовами середовища; у герметичному виконанні – в приміщеннях сирих, запорошених і з хімічно активним середовищем.

Конструктивно вони розрізняються за способом монтажу (заднє або переднє приєднання відповідних дротів), величиною допустимих струмів і напруги, числом полюсів, схемою комутації і т. д.

Для управління освітленням випускаються найрізноманітніші типи вимикачів і перемикачів. У групових мережах і струмах до 6 А і напрузі до 250 В застосовуються вимикачі і перемикачі – кнопкові, з поворотною ручкою або з перекидним руків'ям.

Рубильники і перемикачі вертикально встановлюються на панелях різних розподільних пристроїв і служать для неавтоматичних включень і виключень електричних ланцюгів.

Аналогічно вимикачам вони розрізняються за способом монтажу (з переднім або заднім підключенням дротів або кабелів), за величиною допустимого струму і напруги, числом полюсів (одно-, дво- й триполюсні). Конструктивно вони випускаються з центральним або бічним руків'ям, центральним або бічним важільним приводом. Рубильники і перемикачі з центральним руків'ям можуть служити тільки в якості роз'єднувача, тобто відключати заздалегідь знеструмлені електричні ланцюги, а з бічним руків'ям і важільними приводами – комутувати електричні ланцюги під навантаженням, що вимагається в освітлювальних мережах.

Контактори і магнітні пускачі.

Контактори виготовляються у відкритому виконанні. Магнітні пускачі випускаються у відкритому (без кожуха), захищеному, пиле-вологозахищеному і вибухозахищеному виконаннях. Найбільше застосування мають пускачі в захищеному виконанні (у кожусі), що встановлені в приміщеннях з нормальними умовами середовища. Пиле-вологозахищені пускачі випускаються з ретельно ущільненим зчленуванням корпусу і кришки і мають патрубки для введення дротів. Такі пускачі встановлюються в приміщеннях з підвищеною вологістю і запиленою і на відкритих ділянках території.

Треба зауважити, що контактори та магнітні пускачі в окремому виконанні використовуються сьогодні здебільшого в існуючих системах керування, що не пройшли реконструкцію. В сучасних системах освітлення віддають перевагу блокам управління, в склад яких входять дані апарати.

Автоматичні вимикачі забезпечують захист освітлювальних мереж від перевантаження і струмів коротких замикань, а також служать для управління освітленням, т. е. поєднують в собі одночасно функції, як апаратів захисту, так і апаратів управління.

При установці автоматів в щитках величина струму спрацьовування теплових розчіплювачів зменшується на 10 %. Тому при необхідності забезпечити захист мережі, наприклад, на струм 20 А слід застосовувати автомати з розчіплювачами 25 А.

Реле застосовуються в ланцюгах дистанційного керування освітленням.

Блоки управління. В цілях полегшення і прискорення монтажу установок дистанційного керування, замість окремих апаратів (магнітних пускачів, перемикачів, запобіжників і реле) рекомендується застосування спеціальних блоків і шаф управління заводського виготовлення.

Освітлювальні щитки випускаються конструктивно дуже багатьох типів. Відмінність їх визначається:

- родом захисту від зовнішнього середовища;
- системою освітлювальної мережі, для якої вони призначаються;
- типами встановленої на них захисної і комутаційної апаратури;
- кількістю груп, що відходять.

По захисту від дії зовнішнього середовища щитки підрозділяються на відкриті, захищені, захищені з ущільненням, пиле-вологозахищені і вибухозахищені.

Щитки випускаються або тільки з апаратами захисту, або з апаратами управління і апаратами захисту разом.

Освітлювальні щитки тільки з апаратами управління промисловістю не випускаються, і необхідності в таких щитках, як правило, немає. В якості апаратів управління в освітлювальних щитках застосовуються імпульсні реле, реле часу та інші. Як захисні апарати використовуються автомати, що виконують одночасно і функції апаратів управління. Окрім вказаної апаратури, щитки можуть мати ще додатково ввідні рубильники, вимикачі або автомати. Це дозволяє вимкнути щиток від магістральної живлячої мережі для проведення профілактичного і поточного ремонту або одночасного вимкнення або вмикання усіх світильників, підключених до усіх груп цього щитка.

За способом установки розрізняються щитки навісного або втопленого виконання. Є також щитки у вигляді шаф, що вільно стоять.

Сигнальні лампи. Сигналізація стану освітлення може здійснюватися різною сигнальною апаратурою. Є п'ять варіантів виконання ламп, що відрізняються один від одного тільки кольором світлофільтру (скляного ковпачка): опалового, зеленого, червоного, жовтого і синього.

Місцеве управління освітленням

Робиться вимикачами, розташованими безпосередньо в цих приміщеннях або у входів в них. Вимикачі встановлюються на фазних дротах.

У мережах освітлення вибухонебезпечних приміщень класу В-І застосовуються двополюсні вимикачі, що водночас вимикають фазні та нульові дроти. Двополюсні вимикачі використовуються також в мережах з ізолюваною нейтраллю, в приміщеннях з підвищеною небезпекою і особливо небезпечних відносно поразки струмом.

Вмикання та вимкнення невеликого числа світильників роблять одним вимикачем (рис. 1.2), але з міркувань економії електроенергії. Рационально за

наявності в приміщенні декількох світильників (а іноді і одного багатолампового світильника) встановлювати два і більше вимикачів (рис. 1.3).

Така схема управління використовується, наприклад, для багатолампових люстр, де потрібно забезпечити можливість включення усіх ламп повністю або по частинах.

На практиці при освітленні невеликих приміщень часто необхідно управляти рядами світильників, розташованими паралельно вікнам. В цьому випадку потрібно окремо управляти світильниками, що знаходяться у вікон, і світильниками, віддаленими від них.

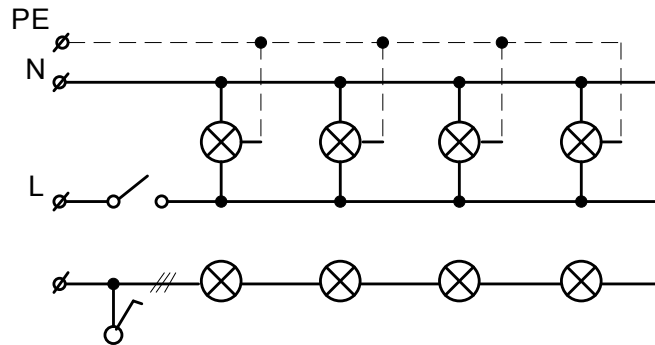


Рисунок 1.2 – Схема включення ламп одним вимикачем

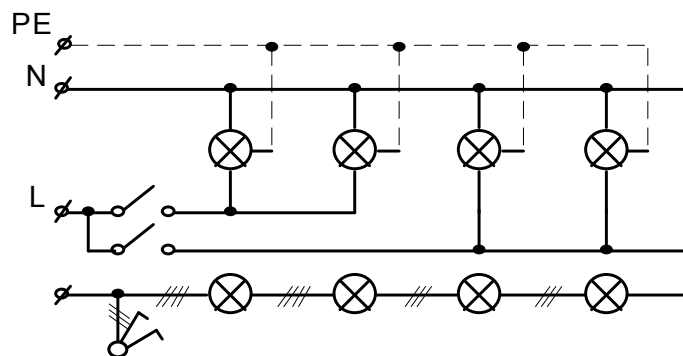


Рисунок 1.3 – Схема включення ламп двома вимикачами

Може бути такий випадок, коли живлення мережі освітлення робиться з боку, протилежного до вимикачів. Тоді доводиться застосовувати чотирипровідну лінію (рис. 1.4). При необхідності підключення до мережі окрім ламп ще штепсельних розеток або інших електроприймачів, незалежних по управлінню, застосовується схема, представлена на рисунку 1.5.

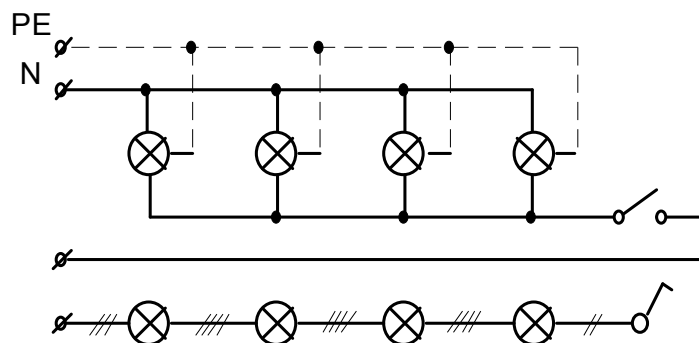


Рисунок 1.4 – Схема включення ламп з боку, протилежного до пункту живлення

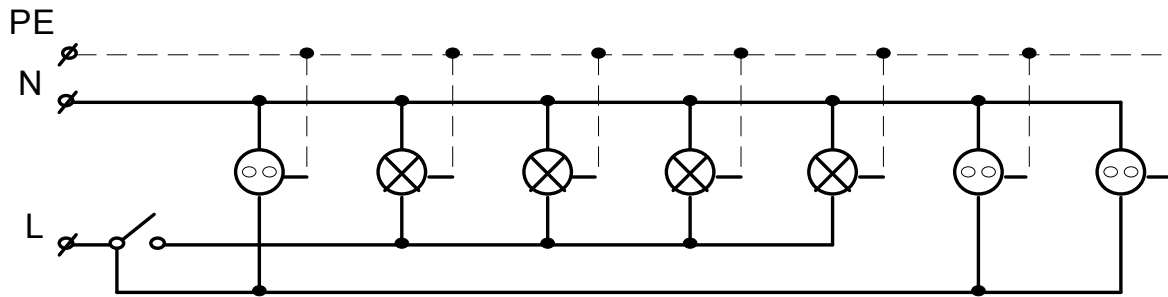


Рисунок 1.5 – Схема включення ламп, підключених до групи, що проходить

Управління освітленням тунелів, різних галерей і коридорів повинно здійснюватися з різних їх кінців. Це дозволяє при вході, наприклад, в тунель з одного кінця включати освітлення, а при виході з іншого кінця відключати. У приміщеннях з двома виходами застосовують так звану **коридорну схему** управління з двох місць за допомогою перемикачів (рис. 1.6). Ця система забезпечує управління освітлення з кожного входу незалежно від положення перемикача в іншому кінці коридору.

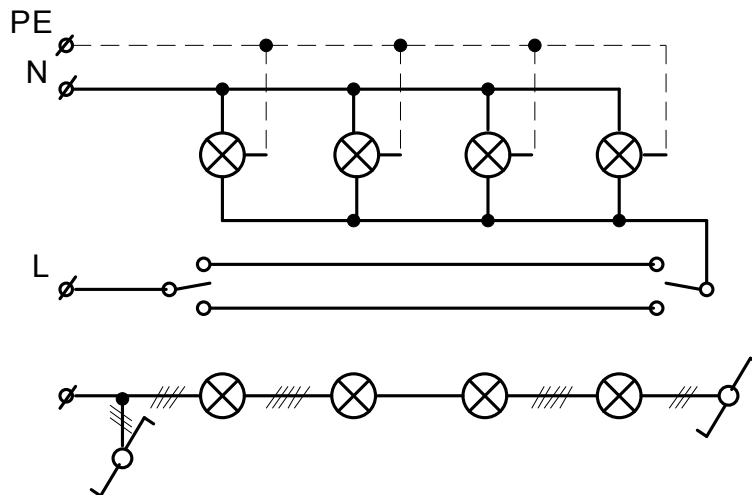


Рисунок 1.6 – Коридорна схема управління освітленням

У великих цехах і в приміщеннях, де встановлюється велика кількість світильників, замість окремих вимикачів застосовуються групові щитки, укомплектовані апаратами захисту і управління.

Для забезпечення кращих умов експлуатації і якнайшвидшого визначення місць ушкодження при аваріях в дво- і трифазних мережах рекомендується передбачати пофазне відключення світильників. Тому часто при застосуванні дво- і трифазної систем живлення світильників встановлюються щитки не з дво- і трифазними апаратами, а з однофазними. Це дає можливість в певні періоди доби вимкнути частину світильників і перейти на «чергове» освітлення.

Дуже важливим питанням є вибір місця установки вимикачів або групових щитків. Місця їх установки мають бути легко доступні для обслуговування. Установка щитка в приміщеннях, які можуть бути закритими (комори і т. п.), не допускається. Бажано для установки щитка вибрати такі місця, щоб особа, яка здійснює відключення або включення освітлення і знаходиться у щитка, бачила підключені до цього щитка світильники. Рекомендується, особливо у будівлях,

де робота ведеться не цілодобово, щитки або вимикачі розташовувати поблизу основних входів. Щитки без вимикачів встановлюються на сходах і в коридорах. Розміщення щитків повинне забезпечувати зручну і коротку трасу живлячих і групових мереж і прийнятні перерізи дротів. Щитки і вимикачі встановлюються на висоті 1,5–1,8 м від підлоги. Вимикачі в окремих кімнатах розташовуються біля входних дверей з боку дверної ручки.

У вибухонебезпечних і пожежонебезпечних приміщеннях, а також в усіх приміщеннях з важкими умовами середовища вимикачі встановлювати не рекомендується. У разі ж необхідності установки апаратів управління в таких приміщеннях вони мають бути виконані відповідно до вимог Правил улаштування електроустановок (ПУЕ).

Освітлювальні установки пожежонебезпечних складських будівель, що окремо стоять, а також складських приміщень з цінними матеріалами, що згорають, повинні мати апарати загального відключення, розташовані поза приміщеннями (наприклад, зовні, біля входних дверей).

Іноді за умовами виробничого процесу не вимагається відключати освітлення приміщення по частинах, т. е. освітлення завжди працює повністю і все одночасно в певний час вимикається. У таких випадках застосовують групові щитки тільки із захистом і без вимикачів, а до нього на живлячому кабелі встановлюється ввідний рубильник (чи вимикач) і їм робиться включення або виключення освітлення.

Світильники місцевого освітлення повинні управлятися індивідуальними вимикачами, що встановлюються у безпосередній близькості від робочого місця так, щоб робітник, не відходячи від свого місця, мав можливість включити або вимкнути світильник місцевого освітлення.

ТЕМА 2 Системи управління освітленням

Автоматика – галузь науки і техніки, яка займається управлінням різними процесами і контролем їх протікання, здійснюваних без безпосередньої участі людини.

Управління різними процесами без втручання людини називається **автоматичним управлінням**, а технічні засоби, за допомогою яких воно здійснюється, – **засобами автоматики**.

Відповідно до виконуваних функцій усі елементи автоматичної системи діляться на три групи:

- вимірювальна;
- перетворююча;
- виконавча.

Вимірювальну групу складають різного роду датчики.

Перетворюючу – підсилювальні пристрої, регулятори, цифрові і мікропроцесорні пристрої.

Виконавчу – вимикачі, контактори, реле та ін.

Датчик – цей пристрій, що перетворює вхідну дію будь-якої фізичної величини в сигнал, зручний для подальшого використання (найчастіше в

електричний сигнал). Таким чином, датчики перетворюють будь-яку величину в електричний сигнал, який зручно передавати, обробляти, виводити на дисплей і тому подібне.

Оптичні (фотоелектричні) датчики працюють або на основі внутрішнього фотоефекту - зміни опору при зміні освітленості, або виробляють фотоЕДС, пропорційну освітленості.

Розрізняють аналогові і дискретні оптичні датчики. У аналогових датчиків вихідний сигнал змінюється пропорційно зовнішній освітленості. Основна сфера застосування – автоматизовані системи управління освітленням.

Датчики дискретного типу змінюють вихідний стан на протилежне значення при досягненні заданого значення освітленості.

Автоматизована система управління (АСУ) – комплекс апаратних і програмних засобів, призначений для управління різними процесами :

- автоматизовані системи управління (АСУ) – за участю людини в контурі управління;

- система автоматичного управління (САУ) – без участі людини в контурі управління.

Автоматизовані системи управління освітленням, призначені для використання в громадських будівлях, виконують наступні функції:

- точна підтримка штучної освітленості в приміщенні на заданому рівні. Досягається введенням в систему управління освітленням фотоелемента, який знаходиться усередині приміщення і контролює створювану ОУ освітленість;

- облік природної освітленості в приміщенні. Незважаючи на наявність у переважній більшості приміщень природного освітлення у світлий час доби, потужність освітлювальної установки розраховується без його урахування;

- облік часу доби і дня тижня. Додаткова економія енергії в освітленні може бути досягнута відключенням ОУ в певні години доби, а також у вихідні і святкові дні. Цей захід дозволяє ефективно боротися із забудькуватістю людей, які не відключають освітлення на робочих місцях перед тим як залишити робоче приміщення. Для її реалізації автоматизована система управління освітленням має бути обладнана власним годинником реального часу;

- облік присутності людей в приміщенні. При устаткуванні системи управління освітленням датчиком присутності можна включати і відключати світильники залежно від того чи є люди в цьому приміщенні;

- дистанційне безпроводне керування освітлювальною установкою. Хоча така функція не є автоматизованою, вона часто є присутньою в автоматизованих системах управління освітленням завдяки тому, що її реалізація на базі електроніки системи управління освітленням дуже проста, а сама функція додає значну зручність в управлінні освітлювальною установкою.

Система управління освітленням є установкою необхідного устаткування, робота якого дозволяє зробити освітлення максимально економним і ефективним.

Добитися якнайповнішого і точнішого обліку кількості денного світла, так само як і обліку присутності людей в приміщенні, можна, застосовуючи **системи автоматичного управління освітленням (САУ).**

Класифікація систем автоматичного управління(САУ) освітленням

Залежно від основної мети, завдання управління САУ класифікуються таким чином:

- системи стабілізації;
- система програмного управління;
- системи, що стежать.

У системах стабілізації робочий параметр об'єкту (регульована величина) підтримується постійним в часі при постійному завданні. Наприклад, для стабілізації робочих характеристик світлодіода необхідно підтримувати постійну величину струму того, що протікає через нього.

У системах програмного управління робочий параметр об'єкту змінюється в часі за заздалегідь *відомим* законом, відповідно до якого змінюється завдання.

У системах, що стежать робочий параметр об'єкту змінюється в часі за заздалегідь *невідомим* законом, який визначається якимсь зовнішнім незалежним процесом.

Залежно від кількості регульованих величин системи можуть бути одновимірними (одна регульована величина) або багатовимірними (декілька регульованих величин).

САУ умовно можна розділити на два основні класи: **локальні** і **централізовані**.

Для *локальних* систем характерне управління тільки однією групою світильників, тоді як *централізовані* системи допускають підключення практично нескінченного числа окремо керованих груп світильників.

У свою чергу, по охоплюваній сфері управління *локальні* системи можуть бути розділені на «системи управління світильниками» і «системи управління освітленням приміщень», а *централізовані* – на спеціалізовані (лише для управління освітленням) і загального призначення (для управління усіма інженерними системами будівлі опалюванням, кондиціонуванням, пожежною і охоронною сигналізацією і так далі).

Локальні системи управління освітленням

Локальні «системи управління світильниками» у більшості випадків не вимагають додаткової проводки, а іноді навіть скорочують необхідність в прокладенні дротів. Конструктивно вони виконуються в малогабаритних корпусах, які закріплюються безпосередньо на світильнику або на колбі в одній з ламп.

Усі датчики, як правило, складають один електронний прилад, у свою чергу, вбудований в корпус самої системи.

Часто світильники, обладнані датчиками, обмінюються між собою інформацією. За рахунок цього навіть у разі, якщо у будівлі залишилася єдина людина, світильники, що знаходяться на його шляху, залишаються включеними.

Централізовані системи управління освітленням

Централізовані системи управління освітленням, які якнайповніше відповідають назві «інтелектуальних», будуються на основі мікропроцесорів, які забезпечують можливість практично одночасного багатоваріантного управління значним (до декількох сотень) числом світильників. Такі системи можуть застосовуватися або тільки для управління освітленням, а також для

взаємодії з іншими системами будівель (наприклад, з телефонною мережею, системами безпеки, вентиляції, опалюванням.)

Централізовані системи видають сигнали, що управляють, на світильники по сигналах локальних датчиків. Проте перетворення сигналів відбувається в єдиному (центральному) вузлі, який надає додаткові можливості вручну управляти освітленням будівлі. Одночасно істотно спрощується ручна зміна алгоритму роботи системи.

Таким чином, **асортимент автоматизованих систем управління освітленням (СУО)** ділиться на:

1) СУО світильника – проста малогабаритна система, яка конструктивно є частиною світильника і управляє одним або групою сусідніх світильників.

2) СУО приміщення – самостійна система, яка управляє однією або декількома групами світильників в одному або декількох приміщеннях.

3) СУО будівлі – централізована комп'ютеризована система управління, яке охоплює освітлення і інші системи цілої будівлі або групи будівель.

Безумовною перевагою СУО світильників є простота їх монтажу і експлуатації, а також надійність.

Проте якщо вимагається управляти ОУ великих приміщень або, наприклад, постає завдання індивідуального управління усіма світильниками в приміщенні, СУО світильників виявляються досить дорогим засобом управління, оскільки вимагають установки однієї СУО на один світильник. В цьому випадку зручніше використати СУО приміщень, які містять менше електронних компонентів, чим вимагається у попередньому випадку, і тому дешевші.

СУО приміщень є блоками, які розміщуються за підвісними стелями або конструктивно вбудовані в розподільні щити. Системи цього типу, як правило, здійснюють одну функцію або фіксований набір функцій, вибір між якими робиться перестановкою перемикачів на корпусі або виносному пульті управління системи. Подібні СУО відносно прості у виготовленні і зазвичай побудовані на дискретних логічних мікросхемах.

Датчики СУО приміщень завжди є виносними, вони мають бути розміщені в приміщенні з керованими ОУ і до них потрібна спеціальна проводка, що є деяким практичним недоліком.

Сучасні облаштування автоматичного управління освітленням поєднують в собі мікропроцесорні програматори періодичності і тривалості світлового режиму, регулятори тиристорів освітленості з функцією «світанок – сутінки» і вбудовану систему захисту ОУ.

Методами безпосереднього управління ОУ є дискретне включення/відключення усіх або частини світильників по командах сигналів, які управляють, а також ступінчасте або плавне зниження потужності освітлення залежно від цих сигналів.

Залежно від характеру електричних сигналів системи можуть бути:

- безперервними з гармонійними сигналами;
- дискретні (релейні, імпульсні, цифрові).

Управління освітлювальним навантаженням здійснюється при цьому двома основними способами:

–плавною зміною потужності ламп в світильниках (однаково для усіх або індивідуально);

–відключенням усіх або частини світильників (дискретне управління).

До систем дискретного управління освітленням в першу чергу відносяться різні фотореле (фотоавтомати) і таймери.

Принцип дії фотореле ґрунтовано на включенні і відключенні навантаження по сигналах датчика зовнішньої природної освітленості.

Таймери здійснюють комутацію освітлювального навантаження залежно від часу доби за заздалегідь закладеною програмою.

До систем дискретного управління освітленням відносяться також автомати, що оснащені датчиками присутності. Вони відключають світильники в приміщенні через заданий проміжок часу після того, як з нього виходить остання людина.

Ящики управління освітленням

Управління виробничим освітленням здійснюється:

- місцево індивідуально;
- місцево централізований;
- автоматично у функції освітленості;
- автоматично централізовано за заданою програмою.

Місьцеве індивідуальне управління застосовують в підсобних, побутових, офісно-адміністративних, службових, житлових і інших невеликих за розміром приміщеннях.

Місьцеве централізоване управління (з одного пункту управляють декількома групами світильників) застосовують на окремих виробничих ділянках, цехах, складах, поверхах і так далі.

Будь-який ящик управління освітленням складається з металевого короба і його електричної начинки – датчиків, кнопок, автоматичних запобіжників. Електрична частина ящика складається з трьох частин:

- силова частина – силовий кабель, автоматичні вимикачі і електромагнітні пускачі;
- прилади для управління – програматор, реле з фотоелементом або таймер (реле часу);
- сенсорні системи – фотодатчики.

Ящики управління освітленням ЯУО 9601(9602), призначені для мереж і установок освітлення підприємств промисловості і сільського господарства.

Ящики здійснюють:

- автоматичне включення і відключення освітлювальних мереж і установок залежно від заданого рівня освітленості і заданого періоду часу;
- автоматичне включення і відключення освітлювальних мереж і установок залежно від заданого рівня освітленості;
- автоматичне включення і відключення освітлювальних мереж і установок на задані періоди доби;
- дистанційне включення і відключення освітлювальних мереж і установок;
- ручне включення і відключення освітлювальних мереж і установок.

Ящики мають наступні технічні характеристики:

- номінальна напруга силового ланцюга 380 В;
- номінальні струми 25; 32; 40; 50; 63; 80; 100; 125; 160 А (допускається випуск ящиків управління освітленням з двома фідерами рівних номінальних струмів 16А+16А; 20А+20А; 25А+25А);
- частота 50 Гц;
- число фаз - 3;
- номінальна напруга ланцюга управління 220 В;
- верхня межа уставки освітленості 2000 лк;
- нижня межа уставки освітленості 5 лк.

Ящики управління освітленням ЯУО 9601 і ЯУО 9602 виготовляються за двома різними принциповими схемами, зокрема, ЯУО 9601 містить програма тор-фотовимикач, а ЯУО 9602 – тільки фото-вимикач. Загальний вигляд ящиків управління ЯУО 9601 і ЯУО 9602 показано на рисунку 2.1.

Ящик управління освітленням складається з двох частин: металевого ящика настінного кріплення з передніми дверима і виносної фотоголівки – роз'ємного пластмасового корпусу з пристроєм для кріплення, в якому встановлюється фоторезистор. Виведення дротів і кабелів здійснюється через сальники згори і знизу ящика. На дверях ящика розташовані кнопки управління включенням і відключенням, перемикач режиму «місцеве» – 0 – «дистанційне», сигнальна арматура.



Рисунок 2.1 – Ящики управління освітленням:

- а) загальний вигляд ящика управління освітленням на струми 25 – 63 А ЯУО 9601; б) загальний вигляд ящика управління освітленням на струми 80 – 160 А ЯУО 9602; 1 – кришка; 2 – кнопка «Пуск»; 3 – кнопка «Стоп»; 4 – сигнальна лампа; 5 – перемикач режиму «Місцево-дистанційне»; 6 – табличка фірмова; 7 – замок; 8 – сальник введення кабелю фотоголівки; 9 – сальник введення кабелю управління від диспетчерського пункту; 10 – сальник введення силового ланцюга; 11 – сальник виведення силового ланцюга*

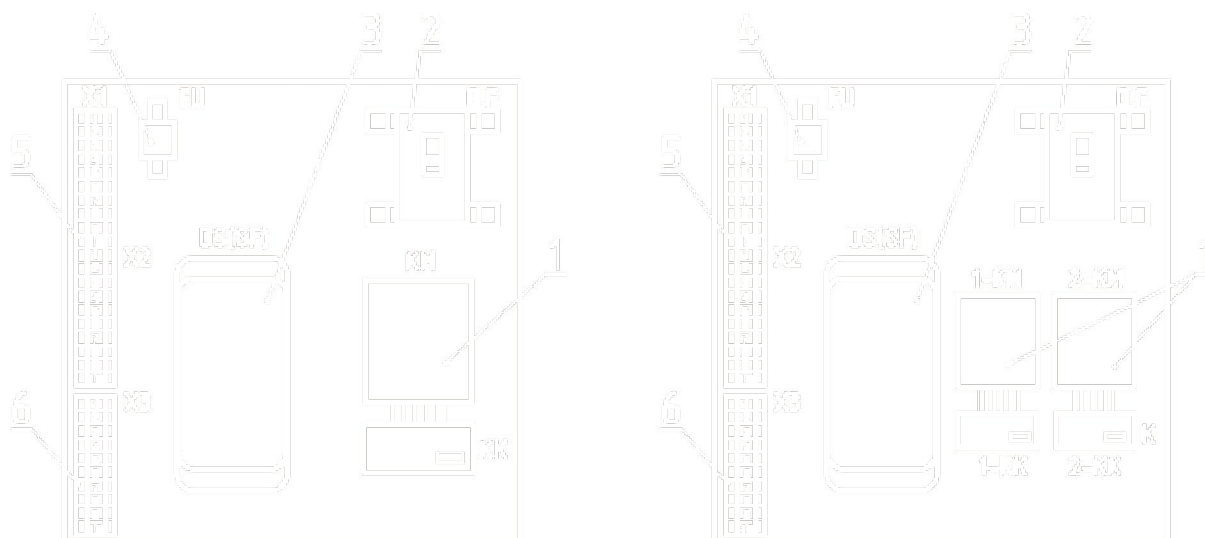


Рисунок 2.2 – Внутрішні панелі ящиків управління ЯУО:

- 1 – електромагнітний пускач КМ або 1-КМ і 2-КМ;
2 – автоматичний вимикач QF; 3 – програматор-фотовимикач DS;
4 – запобіжник FU; 5,6 – клемні колодки X1, X2, X3*

Усередині ящика ЯУО 9601 на панелі (рис. 2.2) розміщені:

- силова частина – електромагнітний пускач КМ або 1-КМ і 2-КМ, автоматичний вимикач QF;
- апаратура управління – програматор–фотовимикач DS, запобіжник FU і клемні колодки X1, X2, X3.

На внутрішній стороні дверей ящика розміщена схема електрична принципова ЯУО 9601 або ЯУО 9602 (рис. 2.3).

Принципові електричні схеми ящика включають магнітний пускач КМ або 1-КМ і 2-КМ, автоматичний вимикач QF, програматор-фотовимикач DS (для ЯУО 9601). У ящику ЯУО 9602 замість програматора-фотовимикача встановлений фотовимикач SF. У ланцюги котушки магнітного пускача КМ включений запобіжник FU.

Поріг спрацьовування фотовимикача по освітленості встановлюється потенціометром, доступ до шліца якого здійснюється через отвір з написом «ПОРІГ» на кришці програматора-фотовимикача або фотовимикача.

При спрацьовуванні фотовимикача на включення на кришці спалахує світлодіод «ФР». Через 20 с після загоряння світлодіода фотовимикач подає команду на виключення вихідному ключу пристрою. Ця тимчасова затримка організована для виключення спрацьовування при випадкових засвіченнях фотодатчика.

Для здійснення програмного управління освітленням перемикач режимів SA має бути встановлений в положення «дистанційно».

Переклад управління з автоматичного режиму на ручний здійснюється перемиканням SA в положення «місцеве». При цьому ланцюги автоматичного управління відключаються. У роботі залишаються тільки ланцюги ручного управління електромагнітним пускачем КМ або пусками 1-КМ, 2-КМ. Ручне включення освітлення здійснюється натисненням кнопки SB2, а відключення – натисненням кнопки SB1, розташованих на дверях ящика.

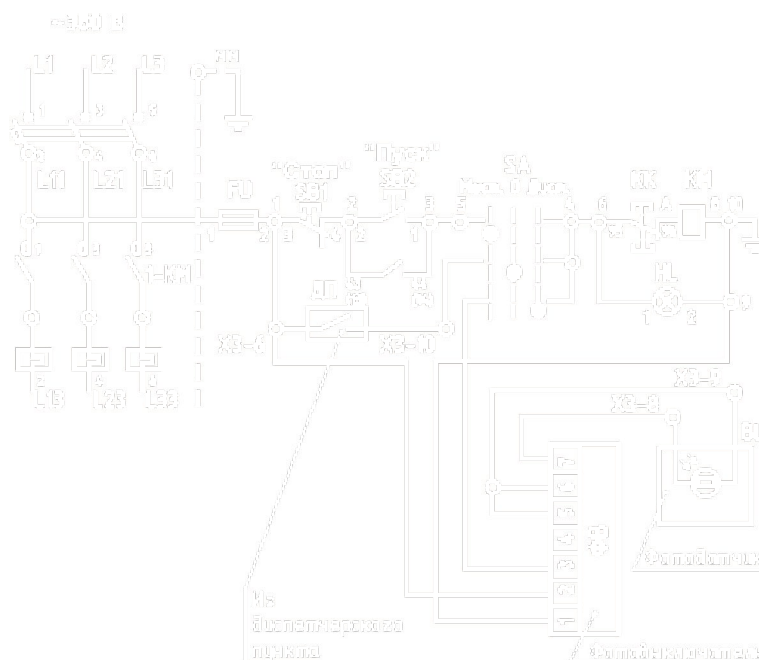


Рисунок 2.3 – Принципова схема ящика управління ЯУО 9601

Для включення і відключення освітлювальної установки від облаштувань телемеханіки до ящика має бути прокладений від диспетчерського пункту двожильний кабель перерізом жили не менше 1 мм для ящиків усіх типів. Жили кабелю підключаються до клем ящика X3-6 і X3-10. Перемикач режимів SA при цьому встановлюється в положення «О». При такому положенні перемикача усі ланцюги як ручного, так і автоматичного управління, опиняються у відключеному положенні і управління ящиком можливо тільки з диспетчерського пункту.

З метою управління (автоматичного, тобто дистанційного) кількістю від одного реверсивним / неререверсивними трифазними електродвигунами, а також – іншими енергоспоживачами використовуються низьковольтні **ящики комплектів управління електроустановками Я5000** напругою до 1000 В змінного і постійного струму. Встановлюються вони, як правило, як на житлових, комунальних, побутових, так і на промислово–громадських об'єктах з одностороннім обслуговуванням.

Ящики управління серії Я 5000 призначені для управління асинхронними двигунами з короткозамкнутим ротором потужністю до 75 кВт тривалого режиму роботи (пуск електродвигуна і відключення електродвигуна, що обертається), а також для короткочасного і повторно-короткочасного режимів роботи.

Ящики управління серії Я 5000 є звареною металоконструкцією корпусу з дверима на петлях, що фіксуються замком, що забезпечує міру захисту IP41(IP54).

Апаратура встановлюється в ящику управління на спеціальну панель і на двері з внутрішньої сторони. Для введення зовнішніх провідників передбачені універсальні пристрої на днищі і даху ящика управління, розраховані на введення провідників в ящик будь-яким способом.

Ящики управління розрізняються по наявності або відсутності реверсу керованого двигуна, кількості керованих двигунів і по набору електроапаратури залежно від потужності керованих двигунів.

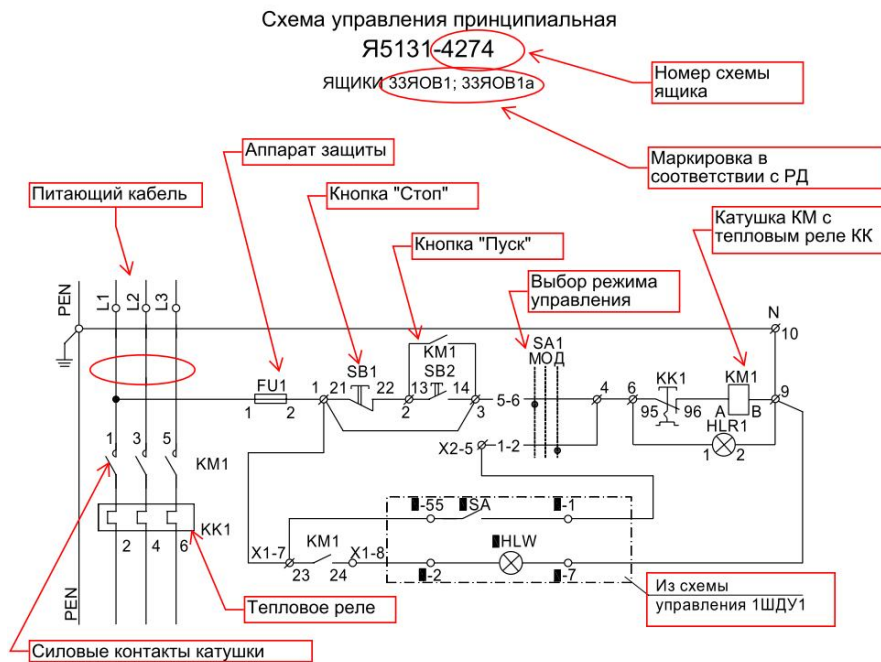


Рисунок 2.4 – Принципова схема управління Я5131

На рисунку 2.4 наведено принципова схема ящика управління освітленням серії Я5000, а саме Я5131-4274, на струм навантаження 160 А.

Структура умовного позначення ящика управління Я5131-4274

Приклад позначення ящика управління освітленням Я5000
(Я 5ХУУ - ZZ - К - L УХЛ4):

- Я – ящик управління;
- 5 – управління асинхронними двигунами з короткозамкнутим ротором;
- 1 – управління нереверсивним двигуном;
- 3 – ящик управління без автоматичного вимикача (1 – ящик управління з одним автоматичним вимикачем на кожен фідер);
- 1 (0-3) – один фідер;
- 42 – виконання по струму (номер схеми за даними виробника);
- 7 – 380 В – виконання по напрузі головного ланцюга;
- 4 – 220 В – виконання по напрузі допоміжного ланцюга;
- УХЛ4 – вид кліматичного виконання по ГОСТ 15150-69 і ГОСТ 15543.1-89

ТЕМА 3 Принципи управління джерелами світла. Димірування світла

Управління освітлювальною установкою або окремим світловим приладом зводиться не лише до своєчасного включення або відключення, але і плавній зміні яскравості джерел світла, усіх або деяких.

Необхідність в зменшенні яскравості джерела світла виникає досить часто. Це і зниження потоку світла перед сном, і зміна світлової картини приміщення і, нарешті, переключення в «черговий режим» з метою скорочення витрат.

Для таких випадків і застосовується пристрій плавної зміни яскравості – димер.

Слово «димірування» пішло від англійського «dim» («затінювати») і означає плавне регулювання яскравості світла.

Отже, мета димірування – створення статичних або динамічних світлових сцен, економія електроенергії і продовження терміну служби ламп (за рахунок «м'якого» пуску і використання економних режимів), тим самим створення затишної обстановки в приміщенні. При цьому споживана потужність зменшується пропорційно.

Пристрої, які роблять димірування, називаються «димерами» або «світлорегуляторами».

Димер – регулятор електричної потужності навантаження, як правило, включається послідовно з нею. Зазвичай використовується для регулювання яскравості ламп розжарювання, галогенних ламп або світлодіодів.

Існує деякий поріг, при подачі потужності нижче за який лампа припиняє світитися. Це значення називають **порогом димірування** і виражають у відсотках від номінальної потужності джерела світла. Для лампи розжарювання поріг димірування рівний 0 %.

Всі газорозрядні лампи (люмінесцентні, натрієві, металогалогенні) мають поріг димірування відмінний від нуля за самим принципом роботи лампи. Щоб підтримувався розряд, повинна підводитися потужність не нижче певного значення.

При виборі димера, слід враховувати тип ламп, з якими він використовуватиметься. Принципи регулювання потужності різних типів ламп (розжарювання, галогенних, люмінесцентних та ін.) відрізняються, тому їх регулятори освітлення побудовані за різними схемами.

Простим варіантом димера є змінний резистор, включений послідовно з лампою. Недоліки його очевидні – низький ККД і необхідність забезпечення тепловідводу від резистора при великих потужностях.

Ефективнішим варіантом є застосування так званого лабораторного автотрансформатора (ЛАТР). В ньому можна регулювати відведення, до якого підключається навантаження. Міняється напруга живлення лампи, відповідно, міняється її яскравість. Подібний пристрій має високий ККД, але дуже громіздкий, що утрудняє його масове використання. Тому в сучасних димерах використовують інший принцип.

Лампи розжарювання, галогенні лампи прямого включення 220 В і галогенні лампи з електромагнітними трансформаторами управляються димерами з режимом відсічення фази. Розігрів нитки розжарювання залежить від величини напруги, яка подається на неї зі світлорегулятора. В результаті міняється її яскравість світіння. Таке димірування відоме як управління з відсіченням по передньому фронту.

Звичайні димери для ламп розжарювання працюють як вимикачі, які включають і вимикають лампу 120 разів в секунду. «Зрізаючи» початок кожної хвилі змінного струму, вони регулюють величину потужності, що подається на лампу. Такі перемикання виконуються з досить високою частотою, тому око людини не помічає мигання.

Це простий тип світлорегуляторів. За принципом управління бувають поворотні, поворотно-нажимні і сенсорні.

Нині найбільш поширеними є димери з регулюванням фази, що відсікають передній фронт, конструйовані на основі двонаправленого тріодного тиристора. Тиристор – двонаправлений перемикач, для включення якого потрібний лише короткий імпульс. У ланцюзі змінного струму він автоматично вимикатиметься при зміні полярності струму. Це відбувається, тому що напруга (а значить і струм) проходить через 0. При нульовому струмі тиристор не може забезпечувати провідність і відключається. Кожну секунду процес перемикання здійснюється 100 разів (120 разів для мереж частотою 60 Гц). Серед побутових димерів останній тип називається «універсальним».

Подібні світлорегулятори залежно від навантаження можуть перемикатися на відсікання, як переднього, так і заднього фронту.

Сучасні димери для ламп розжарювання розрізняються типом напівпровідникового пристрою, що перериває струм: на тиристорах, симісторах, біполярних транзисторах, польових транзисторах.

У димерах, що випускаються промисловістю, замість тиристорів використовуються симістори. За принципом роботи симістор аналогічний тиристор, але пропускає струм в обох напрямках. Це дозволяє обійтися без діодного моста, на якому втрачається частина потужності.

Складнішим варіантом є димери на біполярних транзисторах, що відрізняються більшою універсальністю. Нарешті, кращі параметри (але і вищу ціну) мають димери на польових транзисторах.

Димери на тиристорах і симісторах зрізують передній фронт синусоїди. Транзисторні димери можуть зрізати як передній фронт синусоїди (маркіровка RL), так і задній (маркіровка C).

Низьковольтні галогенні лампи. При використанні ГЛН на напругу 12 В підключення ламп до мережі здійснюється через знижувальний трансформатор.

Слід враховувати, що трансформатор, вживаний в цій схемі, має бути електронним і регульованим, таким, що забезпечує «м'яке» включення. Це необхідно, для розігрівання нитки лампи. При первинному невеликому струмі відсутнє її перевантаження;

Знижувальний трансформатор може бути обмотувальним або електронним. В результаті несиметричної обрізання синусоїди на виході димера може бути присутньою постійна складова, яка може вивести з ладу обмотувальний трансформатор. Тому димер має бути пристосований для роботи з індуктивним навантаженням. Слід використовувати димери, що мають маркіровку RL.

Електронний трансформатор є навантаженням місткості, тому для нього треба використовувати димери з марківною C. Галогенні лампи з електронним трансформатором управляються димерами із затримкою фази.

Апаратно вони виглядають так само, як і димери для ламп розжарювання, відмінність тільки в електроніці.

У будь-якому випадку слід використовувати димер і трансформатор, сумісні один з одним. Найкращим варіантом є поєднання димера і електронного трансформатора в одному пристрої.

Поріг димірування для ГЛН рівний 0 %. Проте, принцип роботи ГЛН має

на увазі наявність вольфрамо–галогенного циклу, коли вольфрам, що осідає на стінках колби, повертається назад на нитку розжарення. При зменшенні потужності нижче певного рівня, що подається на лампу, вольфрамо-галогенний цикл припиняється.

Якщо ГЛН постійно працює в режимі зниженої яскравості, то поступово стінки її колби темніють із-за вольфраму, що осідає на них. При виникненні такого явища рекомендується включити лампу на повну потужність впродовж 10 хвилин.

Люмінесцентні лампи диміруються за допомогою спеціальних керованих електронних баластів (ЕПРА), які монтуються безпосередньо у світильники замість традиційних дроселів і стартерів.

Електронна схема, по якій побудовано димер, перетворює напругу мережі до значень в інтервалі 0 – 10 В. Ця напруга, подана на електроди лампи, регулює потужність створюваного між ними електричного розряду, що управляє силою світіння газу.

За типом сигналів, що управляють, існують два види регульованих ЕПРА:

- з управлінням аналоговим сигналом 0–10 В;

- з цифровим управлінням за стандартом DALI (Digital Addressable Lighting Interface).

Із звичайними люмінесцентними лампами використання димера для ламп розжарювання неможливе. Тут потрібний ЕПРА з диммером.

Практично усі сучасні лінійні люмінесцентні лампи від провідних виробників піддаються диміруванню, причому димірування практично не впливає на термін служби. А якщо замість виключення люмінесцентної лампи її на якийсь час димірують, то такий підхід навіть підвищує ресурс роботи лампи, оскільки термін служби скорочують саме часті включення і виключення.

Поріг димірування люмінесцентних ламп у провідних виробників досягає 5 %.

Димірування люмінесцентних ламп дозволило компанії Feelux Lighting створити технологію Sun in House (SIH), що переводиться як «сонце у будинку». Завдяки ній вдається міняти колірну температуру освітлення залежно від часу доби або просто за бажанням користувача. Беруться дві лампи, що диміруються, одна з колірною температурою 2200 К, а інша – з 8000 К. Міняючи співвідношення рівнів світла цих ламп, можна регулювати колірну температуру в широких межах. Окрім особливих ламп, потрібно і спеціальний контроллер, що є універсальне ЕПРА з двуканальним диммером.

Диміровані компактні люмінесцентні лампи управляються тим типом димера, який вказаний в інструкції лампи.

Є два типи компактних люмінесцентних ламп (КЛЛ): без ПРА і зі вбудованим ПРА. Перші диміруються точно так, як і звичайні люмінесцентні лампи. Другі або не диміруються взагалі, або працюють з димерами для звичайних ламп розжарювання.

Принцип роботи компактної люмінесцентної лампи, що димірується, зі вбудованим ПРА такий же, як і у звичайної КЛЛ. Для того, щоб КЛЛ димірувалася, вона повинна мати здатність запускатися при зниженій потужності. Це обумовлено тим, що живлення на лампу і пусковий пристрій подається через одні і ті ж контакти.

Потужність КЛЛ, що димірується, як правило, не менше 18 Вт. Річ у тому, що для підтримки розряду в КЛЛ потрібна потужність не менше 1,8 Вт (у недорогих ламп цей поріг може бути близько 6 – 7 Вт), відповідно, для ламп меншої потужності глибина димірування буде занадто малою. Важливий нюанс: спочатку треба вивести регулятор димера хоч би на третину від максимальної потужності, щоб стався запуск лампи, а потім понизити освітленість до необхідного рівня.

Поріг димірування у КЛЛ може досягати 10 %. Часто поріг димірування КЛЛ складає 15 – 30 %.

Основна проблема димірування компактних люмінесцентних ламп зі вбудованим ПРА пов'язана зі швидшим зносом із-за старту з недостатньо прогрітими електродами. Пов'язано це з тим, що димер зменшує потужність, що подається на увесь пристрій, у тому числі і на електроди лампи. У зв'язку з цим КЛЛ, що диміруються, виготовляються з великим «запасом міцності». Природно, вони коштують значно дорожче за звичайні компактні люмінесцентні лампи. З цієї причини КЛЛ, що диміруються, не знайшли широкого застосування.

Металлогалогенні лампи і ДНаТ диміруються дуже рідко.

Дуже широко поширена думка, що металлогалогенні лампи (МГЛ) взагалі не піддаються диміруванню. Насправді, для деяких сучасних моделей МГЛ димірування можливо при використанні спеціального електронного баласту.

Поріг димірування у МГЛ складає усього 50 %.

Недоліки димірування МГЛ і ДНаТ:

- зміна колірної температури при зміні потужності, що підводиться;
- при зниженій потужності МГЛ працює в неоптимальному режимі, який характеризується падінням світловидатності і зменшенням терміну служби.

Один з небагатьох прикладів – софіти для телезйомки репортажу, що живляться від акумулятора. Вони знаходяться в режимі зниженої яскравості, а у момент зйомки переводяться в режимі максимальної яскравості. Димірування має сенс, оскільки на запуск МГЛ може піти декілька десятків секунд.

Принцип роботи натрієвих ламп високого тиску практично такий же, як і у МГЛ. Відповідно, димірування здійснюється таким же способом. Для димірування придатні лише деякі моделі ламп. При диміруванні ДНаТ знижується термін служби. Димірування ДНаТ не отримало широкого поширення.

Класифікація димерів

За алгоритмом роботи димери бувають спеціальні – розраховані на певні типи джерел світла – і універсальні, які автоматично визначають тип навантаження і вибирають принцип димірування.

За способом управління димери бувають поворотними, поворотно-нажимними, клавійними і сенсорними.

За типом корпусу димери бувають настінними, щитовими (на DIN рейку) і приладовими, які встановлюються за підвісну стелю або ховаються в настановні коробки.

Потужність побутових настінних димерів, як правило, в діапазоні

400–1000 Вт, найчастіше зустрічаються 400 і 600 Вт. Якщо необхідно управляти великими навантаженнями, застосовують спеціальні **підсилювачі потужності**, виконані у вигляді окремого пристрою настінного або щитового виконання.

Димери з дистанційним управлінням – це, як правило, звичайні настінні сенсорні димери, укомплектовані спеціальною накладкою з ІК – приймачем або приймачем радіосигналу. Для дистанційного керування щитовими димерами застосовують додатковий модуль – приймач радіосигналу, до якого можна підключити виносну антену. Керований по радіо димер в приладовому виконанні – повністю автономний модуль, до складу якого входить приймальний пристрій.

Існує чотири способи управління роботою димера :

- механічний;
- електронний;
- акустичний;
- дистанційний.

Найбільш простий і поширений спосіб – механічний (з поворотною ручкою). Він припускає наявність в схемі потенціометра, включеного в низьковольтний ланцюг силового елемента, що управляє, – тиристора, дроселя, реостата та ін.

Світлорегулятор – димер, регулювання напруги якого має електронне управління (кнопки, сенсори), має у своєму складі різні датчики.

Дистанційне керування світлорегулятором здійснюється за допомогою пульта управління по радіоканалу або ІК – сигналами.

А для управління акустичним світлорегулятором застосовується звуковий сигнал (хлопок, голосова команда та ін.).

При виборі цього типу вимикача також слід враховувати сумарну потужність ламп, що підключаються до нього. Значення максимальної потужності димера рекомендується вибирати більше розрахункової потужності навантаження. Стандартна потужність побутових димерів коливається від 40 до 1000 Вт.

ТЕМА 4 Світлодіоди. Принципи управління світлодіодними системами

Кінець ХХ століття ознаменувався появою принципово нових електричних джерел світла – світлодіодів (у іноземній літературі зазвичай званих LED – Light Emitted Diode).

Світлодіод – це напівпровідниковий прилад, що генерує (при проходженні через нього електричного струму) оптичне випромінювання, яке у видимій області сприймається як одноколірне (монохромне). Колір випромінювання визначається як використовуваними напівпровідниковими матеріалами, так і легуючими домішками. Напівпровідник – це матеріал, який пропускає електричний струм в одному напрямі. Випромінювання в цих джерелах генерується не за рахунок нагрівання, як в лампах розжарювання, і не за рахунок електричного розряду, як в МГЛ, а за рахунок виділення енергії електронами при проходженні струму через кордон металу і напівпровідника.

На відміну від усіх інших джерел світла, випромінювання світлодіодів не містить теплових (інфрачервоних) і ультрафіолетових променів. Тому

світлодіоди не нагрівають предмети і не викликають їх вицвітання. Розміри їх дуже малі, що дозволяє легко перерозподіляти світловий потік в просторі за допомогою відбивачів або лінз.

Останнім часом отримали широке поширення **білі світлодіоди** – своєрідний гібрид світлодіода і люмінесцентної лампи. Це монохроматичний синій діод, покритий шаром люмінофора, який під дією синього випромінювання світлодіода випромінює колір в широкій області спектру – від зеленого до червоного. При змішенні з власним випромінюванням світлодіода виходить світло, яке людським оком сприймається як дуже близький до звичайного денного світла, іноді з невеликим зміщенням у бік холодних тонів.

Останніми роками ефективність світлодіодів істотно зросла. Нині вона досягає залежно від кольору 110 лм/Вт і більше (для порівняння, краща світловидатність у ламп може досягати в лабораторних умовах 330 лм/Вт). Типовий світлодіод споживає струм 15-20 мА при робочій напрузі 1,7-4,6 В. Передача кольорів знаходиться в межах $Ra > 80$.

Однією з основних переваг світлодіодного освітлення є його здатність легко і ефективно піддаватися управлінню. Окрім досягнення різних візуальних ефектів, адміністрування може привести до економії енергії і тривалішого терміну служби світлодіодних систем освітлення, використовуючи різні методи для регулювання інтенсивності світла.

Бурхливе зростання кількості світлодіодних джерел світла супроводжується таким же бурхливим розширенням асортименту інтегральних схем, призначених для управління живленням світлодіодів.

Будь-які застосування, від ручного ліхтарика до інформаційних табло на стадіонах, вимагають точного управління стабілізованим струмом. При цьому часто буває необхідно в реальному часі змінювати інтенсивність випромінювання світлодіодів. Розглянемо основи теорії світлодіодів і найбільш популярні методи димірування.

Світлодіодні драйвери

Струм світлодіода збільшується сильніше, ніж напруга, що подається на нього. Отже, навіть невеликі зміни напруги можуть привести до великих змін струму, що може привести до виходу світлодіода з ладу. На рисунку 4.1 зображена типова вольт-амперна характеристика світлодіода.

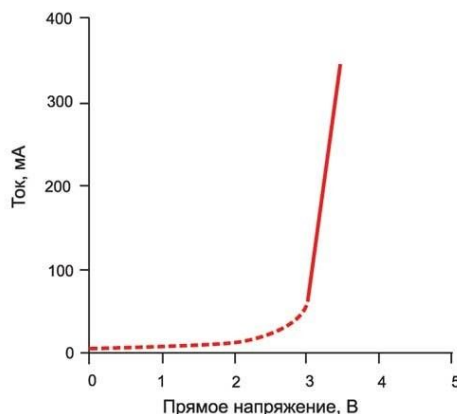


Рисунок 4.1 – Вольт-амперна характеристика світлодіода

Щоб підключити світлодіодний світловий прилад до джерела напруги, такого як електромережа або батарея, і не пошкодити при цьому світлодіодні джерела світла, необхідно контролювати споживану потужність так, щоб світлодіоди могли безпечно її використати. Цю функцію виконує світлодіодні драйвери.

Світлодіодний драйвер – це електронний пристрій, що перетворює джерело напруги на джерело струму та підтримує струм на постійному рівні, незважаючи на зміни вхідної напруги.

Світлодіодний драйвер захищає світлодіоди від звичайних коливань напруги, а також від перенапружень і стрибків напруги.

Числове значення сприйманої яскравості випромінювання світлодіода може бути легко виміряне в одиницях поверхневої щільності світлового потоку, що називаються силою світла та виражаються в канделах (кд). Сумарна потужність світлового випромінювання світлодіода виражається в люменах (лм). Важливо розуміти, також, що яскравість світлодіода залежить від середньої величини прямого струму.



Рисунок 4.2 – Залежність світлового потоку від струму через світлодіод

На рисунку 4.2 зображений графік залежності світлового потоку деякого світлодіода від прямого струму. При виході струму за межі лінійної ділянки ефективність світлодіода зменшується, нелінійність починає проявлятися при збільшенні I_F .

При роботі поза лінійною областю значна частина потужності, що підводиться до світлодіода, **розсіюється у вигляді тепла**. Це витрачене даремно тепло перевантажує драйвер світлодіода.

Світлодіодні світильники, в яких використовуються світлодіодні драйвери, підключаються до джерела живлення так само просто, як і традиційні світильники. Все більша кількість вбудованих драйверів для світлодіодних світильників білого світла дозволяє регулювати світловий потік.

Способи живлення світлодіодних світлових приладів

Спосіб живлення світлодіодних світлових приладів вибирається для кожної конкретної сфери застосування, виходячи з їх експлуатаційних характеристик,

зручності використання і вартості. Існує три варіанти електроживлення:

- низьковольтна живляча мережа;
- вбудоване джерело живлення;
- інтегроване джерело живлення.

Низьковольтна живляча мережа

Низьковольтні світлодіодні світлові прилади вимагають відповідних джерел живлення або трансформаторів, що перетворюють мережеву напругу в низьку і спеціальної кабельної мережі. Низьковольтні системи мають досить низький ККД, оскільки в процесі перетворення мережевої напруги в низьке відбувається втрата електроенергії під час перетворення, фільтрації і стабілізації струму. Проте для деяких сфер застосування низьковольтні системи є переважними. У гнучких системах, мобільних пристроях і в індустрії розваг широко використовують низьковольтні освітлювальні прилади, що часто поєднуються з театральними пристроями для управління світлом і звуком. Низьковольтні світлові прилади іноді вибирають з естетичних міркувань, наприклад, при оформленні сцени, коли неприпустимо використати кабелі. В цьому випадку він може живитися від батарей, а для управління їм можуть використовуватися безпроводні радіоконтролери.

Типова схема підключення низьковольтних світлових приладів – «зірка», коли кожен прилад або група приладів підключається безпосередньо до низьковольтного джерела живлення за допомогою одного силового кабелю, часто за допомогою спеціального кабелю для конкретної моделі (рис. 4.3).

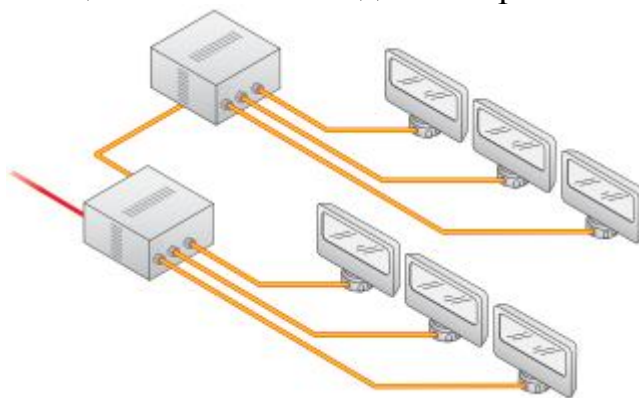


Рисунок 4.3 – Низьковольтна система живлення

Вхід джерела живлення підключається до електромережі. Кількість світлових приладів, що підключаються до одного джерела живлення, обмежується такими чинниками, як споживана потужність, відстань між світловими приладами і джерелом живлення, а також кількістю виходів джерела живлення.

Вбудоване джерело живлення

При використанні вбудованого джерела живлення реалізується така ж загальна схема, як і в низьковольтних системах живлення, але з рядом **переваг**. Зовнішні джерела живлення замінюються стандартними імпульсними джерелами живлення, вбудованими безпосередньо у світильники, що дозволяє безпосередньо підключати їх до електромережі. Це дозволяє понизити витрати

на монтаж, проте, наявність додаткових компонентів усередині світильника може привести до збільшення його розмірів і до погіршення теплового режиму.

Інтегроване джерело живлення

Інтеграція джерела живлення є принципово іншим методом забезпечення електроживлення. Інтегроване джерело живлення впроваджується безпосередньо в схему світильника для створення ефективного силового каскаду, що об'єднує в собі перетворення мережевої напруги і стабілізацію струму світлодіода. За допомогою введення єдиного силового каскаду всередину світлодіодного світильника можна уникнути значних втрат електроенергії, які є в низьковольтних схемах з декількома силовими каскадами.

В цьому випадку користувачі можуть отримати багато **переваг**, що включають збільшення енергоефективності системи, зниження витрат на установку, експлуатацію і обслуговування.

Способи регулювання світлового потоку світлодіодних світлових приладів

Світловий потік світлодіодних приладів може регулюватися двома різними способами залежно від їх типу і можливостей:

- одноколірні білі світлодіодні світильники, що не настроюються, можуть регулюватися за допомогою сумісного димера загального призначення;

- світлодіодні світильники змінюваного кольору і білого світлу з колірною температурою, що настроюється, можуть диміруватися за допомогою DMX або інших інтерфейсів управління.

Димірування за допомогою ШІМ

Світловий потік одноколірних білих світлодіодних світильників, що не настроюються, зі вбудованими регульованими драйверами може регулюватися за допомогою існуючих димерів загального призначення. У більшості світлодіодних драйверів для регулювання потужності, що подається на світлодіоди, використовується **широотно-імпульсна модуляція (ШІМ)**.

Подібно димерам, що використовуються для ламп розжарювання, ШІМ включає і вимикає світлодіоди з високою частотою, що зменшує час знаходження світлодіода у включеному стані і забезпечує зменшення випромінюваного ним світла.

Загальноприйнятий метод управління яскравістю світлодіодних систем освітлення ґрунтується на використанні методу широкоотно-імпульсної модуляції, що є частим включенням і виключенням світлодіодного джерела світла з різним коефіцієнтом заповнення. В загальному випадку коефіцієнт заповнення визначається як відсоток часу, впродовж якого світлодіод включений.

Широтно – імпульсна модуляція – управління середнім значенням напруги на навантаженні шляхом зміни шпаруватості імпульсів, що управляють ключем. Розрізняють аналогову ШІМ і цифрову ШІМ, двійкову ШІМ і трійкову ШІМ.

Широтно – імпульсна модуляція – це спосіб завдання аналогового сигналу цифровим методом, тобто з цифрового виходу, що дає тільки нулі і одиниці отримати величини, що плавно міняються. Якщо представити важкенний крутень, який обертається двигуном, що можна або включити, або

вимкнути. Якщо включити його постійно, то крутень розкрутиться до максимального значення і так і крутитиметься. Якщо вимкнути, то зупиниться за рахунок сил тертя.

А ось якщо двигун включати на десять секунд кожную хвилину, то крутень розкрутиться, але далеко не на повну швидкість – велика інерція згладить ривки від двигуна, що включається, а опір від тертя не дасть йому крутитися нескінченно довго.

Чим більше тривалості включення двигуна в хвилину, тим швидше крутитиметься крутень. При ШІМ на вихід подається сигнал що складається з високих і низьких рівнів, тобто нулів і одиниць (включаємо і вимикаємо двигун). В результаті інтеграції на виході буде величина напруги, рівна площі під імпульсами.

ШІМ сигнал – це імпульсний сигнал певної частоти і шпаруватості.

Частота – кількість періодів за одну секунду.

Шпаруватість – відношення тривалості імпульсу до тривалості періоду. Можна змінювати і те і інше, але для управління світлодіодами досить управляти шпаруватістю.

На рисунку 4.4 показаний ШІМ сигнал з шпаруватістю 50 %, оскільки тривалість імпульсу (ширина імпульсу) рівно половина періоду. Відповідно, світлодіод буде рівно половину часу у включеному стані і половину у вимкненому. Частота ШІМ дуже велика і око не помітить мерехтіння світлодіода із-за інерційності зору, тому здаватиметься, що світлодіод світиться на половину яскравості.

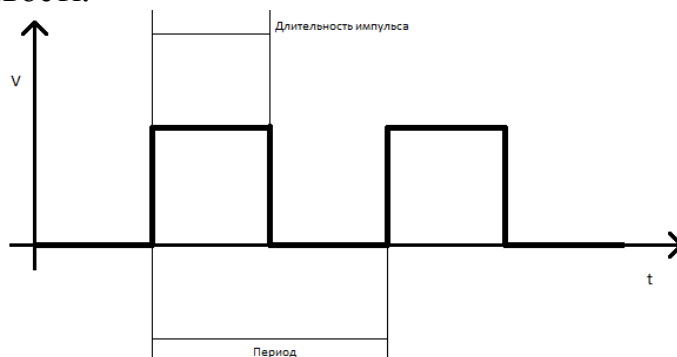


Рисунок 4.4 – ШІМ сигнал – шпаруватість 50%

Якщо змінити шпаруватість на 75 %, то яскравість світлодіода буде на три чверті від повної, а графічно виглядатиме як показано на рисунку 4.5.

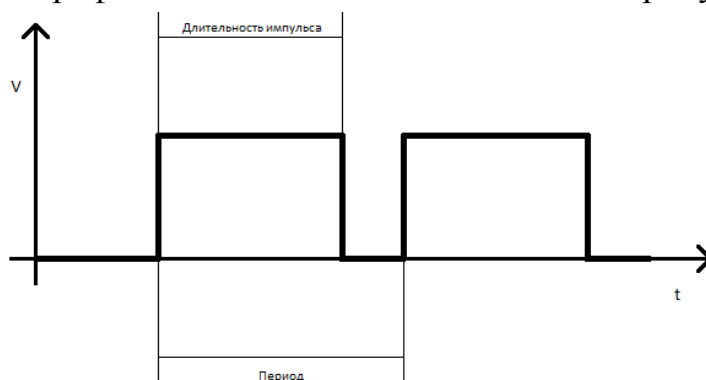


Рисунок 4.5 – ШІМ сигнал – шпаруватість 75%

Міняючи **шпаруватість** можна плавно міняти цю площу, а значить і напругу на виході. Таким чином, якщо на виході суцільні 1, то на виході буде напруга високого рівня, якщо нулі, то нуль. А якщо 50% часу буде високий рівень, а 50% низький те середнє значення напруги, а значить необхідна потужність.

Рисунок 4.6 показує три різні сигнали ШІМ. На рисунку б) показано вихід ШІМ з 10% шпаруватістю. Таким чином, сигнал має високий рівень продовж 10 % від періоду і низький – продовж інших 90 %.

На рисунку а) і в) показано виходи ШІМ з 90% та 50% шпаруватістю, відповідно. Ці три виходи ШІМ кодують три різні значення аналогового сигналу, в 10 %, 50 %, і 90 % повної сили.

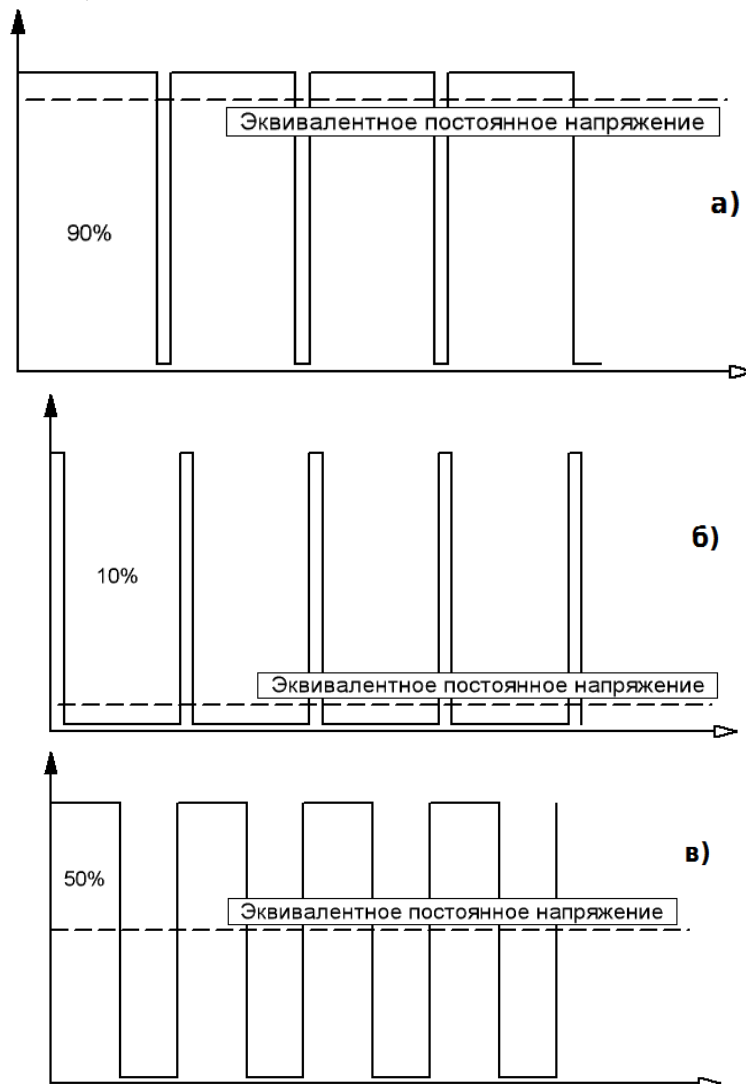


Рисунок 4.6 – ШІМ сигнали різної шпаруватості

Наприклад: акумулятор на 9 В живить лампу розжарювання. Якщо замкнемо ключ, що сполучає акумулятор і лампу на 50 мс, то лампа отримає 9 В в плинні цього часу. Якщо розімкнемо ключ в наступні 50 мс, то лампа отримає 0 В. Якщо ми повторюватимемо цей цикл 10 разів в секунду, то лампа світитиметься так, якби вона була підключена до акумулятора в 4.5 В (50 % з 9 В). Говоритимемо, що шпаруватість складає 50 %, а частота модуляції складає 10 Гц.

Принцип регулювання методом широко-імпульсної модуляції означає розподіл світлодіодної напруги з прямокутними імпульсами, що постійно підключають та відключають його. При регулюванні світлового потоку методом широко-імпульсної модуляції світлодіод живиться короткочасними імпульсами. Саморегулювання здійснюється шляхом зміни тривалості імпульсів. При цьому, амплітуди напруги і струму живлення світлодіода є номінальними. Амплітуда імпульсу визначається номінальною напругою або струмом живлення напівпровідникових джерел світла.

Для характеристики режиму роботи регулятора на основі ШИМ користуються **коефіцієнтом заповнення**, який визначається відношенням тривалості імпульсу до періоду коливань:

$$K_3 = \frac{t_{im}}{T},$$

де K_3 – коефіцієнт заповнення;

t_{im} – тривалість імпульсу;

T – період імпульсів.

Світловий потік напівпровідникових джерел світла при широко-імпульсному регулюванні прямо пропорційний коефіцієнту заповнення або тривалості імпульсу.

Практична реалізація димірування світлодіодних систем

Більшість світлодіодних драйверів несумісна з димерами для ламп розжарювання і в цілому з методом відсічення по передньому фронту. При прямому підключенні світлодіодних світильників до димерів для ламп розжарювання при низьких рівнях димірування може бути помітне мигання. Окрім цього, скачки напруги можуть вивести світлодіодну систему освітлення з ладу.

Багато типів світлодіодних світильників, що живляться від імпульсних джерел живлення, краще працюють з електронними низьковольтними димерами (ELV – типу). Світлодіодні світильники, працюючі з магнітними трансформаторами, наприклад MR16 – сумісні світлодіодні лампи, зазвичай вимагають використання магнітних низьковольтних димерів (MLV – типу).

Більшість димерів ELV – типу являються димерами з відсіченням **по задньому фронту**, тобто відрізають задню частину кожної половини синусоїди. В цілому димери з відсіченням по задньому фронту працюють зі світлодіодними світильниками істотно надійніше. Димери ELV – типу підключаються так само, як стандартні димери, за винятком того, що вони мають дрiт «додаткова нейтраль», по якому на димер продовжує подаватися живляча напруга навіть після того, як підключений до нього світильник вимикається. Спрощена схема підключення димерів ELV – та MLV – типу показана на рисунку 4.7.

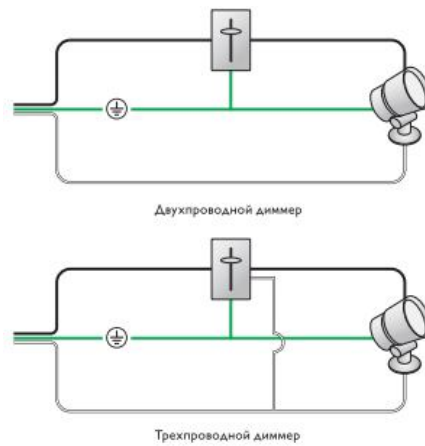


Рисунок 4.7 – Спрощена схема підключення димерів ELV – та MLV – типу

Димери з відсіченням по задньому фронту використовуються набагато рідше, ніж димери з відсіченням по передньому фронту. У нових установках це не викликає проблем – досить просто встановити разом з новими світильниками димер рекомендованого типу. При модернізації системи освітлення, коли відбувається заміна традиційних світильників світлодіодними, необхідно замінити існуючі димери з відсіченням по передньому фронту сумісними димерами з відсіченням по задньому фронту.

Треба правильно вибирати димери, щоб уникнути мигання і післясвічення, тобто випускання світла після виключення світильника.

ШИМ сигнал можна реалізувати і на операційних підсилювачах і на мікроконтролері. У мікроконтролерах є апаратна підтримка ШІМ і декілька каналів для нього. За видачу ШІМ відповідають певні виведення, так само для цього використовуються таймери мікроконтролера.

Конкретний світлодіодний світильник нормально працюватиме тільки з декількома сумісними з ним димерами. Конструкція драйвера, застосованого в приладі, визначає, який повинен використовуватися димер. Виробники світлодіодних світильників зазвичай публікують список перевірених і випробуваних димерів, і тільки ці димери повинні використовуватися.

Нижній поріг регулювання і номінальна потужність димера

Ефективний поріг регулювання більшості світлодіодних світильників знаходиться на рівні приблизно 10 % і міняється залежно від вживаного димера. У більшості наявних в продажі димерів є потенціометр, за допомогою якого можна налаштувати мінімальний рівень регулювання.

Потужність обраного димера повинна відповідати потужності системи освітлення. Для визначення мінімальної потужності димера треба помножити кількість світильників, якими управляє димер, на потужність кожного приладу. Якщо в системі освітлення використовуються різні світильники, то можна визначити сумарну потужність для кожного типу приладу, а потім скласти ці потужності.

Зниження мерехтіння напівпровідникових систем освітлення

Використання методу ШИМ може привести до мерехтіння світлодіодів.

Крім того, деякі світлодіодні системи освітлення розроблені для управління безпосередньо змінним струмом, що також може викликати ефект мерехтіння.

Існує два основні варіанти візуального сприйняття мерехтіння. Мерехтіння може відчуватися безпосередньо при досить низькій частоті (нижче 100 Гц). Навіть при частотах, при яких ефект мерехтіння не може відчуватися безпосередньо, мерехтіння може сприйматися побічно за рахунок **стробоскопічного ефекту**, що називається також ефектом ілюзії або ефектом колеса, що обертається.

Окрім частоти і коефіцієнта заповнення, на ефект мерехтіння також впливають:

- глибина модуляції – різниця між нижнім і верхнім рівнями в сигналі (стани «включено» і «вимкнено»);

- форма сигналу – швидке включення і виключення світлодіода сигналом практично прямокутної форми призводить до миттєвої реакції світлодіода. Світлодіоди змінного струму можуть мати синусоїдальні форми сигналу, співпадаючі з формою сигналу блоку живлення.

Для оцінки здатності людського ока сприймати мерехтіння безпосередньо і побічно, і для того, щоб оцінити вплив ефекту мерехтіння на рівень комфорту людини, провели лабораторні дослідження змодельованих сигналів, що породжують мерехтіння. Експеримент проводився з сигналами різної частоти, глибини модуляції, тривалості робочих циклів і форми. Результати дослідження демонструють, що при частотах вище 100 Гц мерехтіння світлодіодного джерела світла невидимо і не приносить ніякого дискомфорту людині, чого не можна сказати про стробоскопічний ефект, який може побічно відчуватися навіть при частотах близько 300 Гц (найвища частота, на якій проводилися випробування). Зменшення стробоскопічного ефекту може досягатися за рахунок зменшення глибини модуляції за умови, що джерело світла не вимикається при мерехтінні повністю. Для відсутності візуального дискомфорту слід уникати коефіцієнтів заповнення близько 10 %.

ЗМІСТОВИЙ МОДУЛЬ 2

ІНТЕЛЕКТУАЛЬНІ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ОСВІТЛЕННЯМ

ТЕМА 5 Системи аналогового і цифрового управління освітленням

Частенько користувачі стикаються з необхідністю регулювати яскравість освітлювальних приладів в досить широких межах. Для виконання цього завдання створені численні системи управління, як **аналогові**, так і **цифрові**.

Для **аналогового управління освітленням** потрібний, окрім самого світильника, ще два органи управління :

- командний (КО) – той, що посилає команду на зміну режиму роботи ОУ;
- виконавчий (ВО) – той, що безпосередньо змінює режим роботи освітлювальної установки.

У ролі КО традиційно виступають: датчики присутності/руху, кнопкові і дистанційні вимикачі і регулятори рівня, таймери, датчики освітленості. В ролі ВО – присмеркові вимикачі, імпульсні реле, міні-контактори, регулятори інтенсивності світла, тобто димери.

Іноді функції КО і ВО поєднані в єдиному пристрої, прикладом служить димер зі вбудованим регулятором рівня освітленості.

Серед аналогових систем найбільше поширення отримав **метод управління постійною напругою в діапазоні 0 – 10 В**. В цьому випадку на входи, що управляють, подається напруга у вказаному інтервалі і залежно від нього встановлюється яскравість світлового приладу, причому нульовій напрузі відповідає мінімальна яскравість, а значенню +10 В – максимальна.

Принципова схема управління освітленням за аналоговим способом представлена на рисунку 5.1.

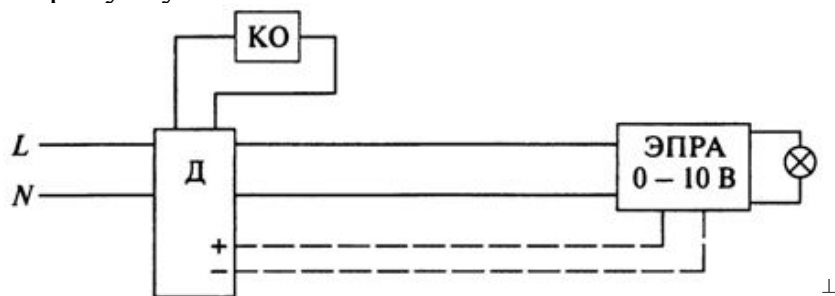


Рисунок 5.1 – Схема управління світильником за аналоговою схемою

Живлення ЕПРА 0 – 10 В здійснюється через димер, але окрім цього від димера до нього підведена додаткова пара дротів, що управляють. Управління рівнем освітленості в діапазоні 100 – 5 % здійснюється самим ЕПРА за сигналом димера, а сам димер тільки відключає живлення при відповідному сигналі від КО.

При управлінні люмінесцентним світлом, як правило, сигнал, що управляє, подається безпосередньо на прилад і доводиться вирішувати проблему взаємодії цього сигналу з внутрішньою електронікою люмінесцентного приладу.

По-перше, встановлений на освітлювальному приладі ЕПРА, що забезпечує роботу ламп, повинен мати функцію управління аналоговою напругою 0 – 10 В. З цієї причини усі цифрові і інші аналогові сигнали, що

управляють, 0 – 15 В, – 10 – 0 В і тому подібне повинні перетворюватися в аналоговий сигнал управління 0 – 10 В.

По-друге, ЕПРА посиляє в ланцюг, що управляє, невеликий струм – близько 1 мА. В деяких випадках струм в ланцюзі управління може досягати 5 мА (багатоламповий пристрій). Внаслідок цього з деякими пультами такі прилади можуть працювати некоректно. Тому може виявитися, що пульт добре працює з димерами для галогенних приладів, але не годиться для управління приладами люмінесцентного світла.

Поциклове управління прямим струмом світлодіода називається аналогове димірування, тобто підтримка струму світлодіода на постійному рівні. Аналогове димірування виконується або регулюванням резистора датчика струму, або зміною рівня постійної напруги, що подається на виведення драйвера світлодіодів.

Дослідження простих систем управління освітленням на основі аналогових датчиків показало, що подібні системи дозволяють досить ефективно понизити споживання електроенергії.

До недоліків аналогових систем можна віднести наявність на ринку систем управління освітленням в основному компонентів облаштувань управління, перемикачів, а не технічних рішень. Частенько згадані компоненти не забезпечують необхідної функціональності у складі систем. В першу чергу це стосується управління яскравістю освітлювальних приладів. Сюди ж слід віднести і ускладнення монтажу електропроводки, труднощі установки устаткування для управління денним освітленням. Ці обставини призводять до збоїв в роботі освітлювальних систем, скаргам споживачів.

Останні 15 років усі системи управління освітленням були аналоговими. Облаштування хоч трохи складних систем відрізнялося один від одного трохи і було побудовано за класичною схемою автоматизації. Основою такої системи є, як правило, контролер, до якого з одного боку підключені різні датчики, а з іншою виконавчі механізми. Зв'язок між датчиками і контролером найчастіше аналоговий, такий же зв'язок і між виконавчими пристроями і контролером.

Основним призначенням таких пристроїв є ефективне управління енергоспоживанням. Введення в експлуатацію і налаштування таких систем досить складне, і ще складніша, якщо в систему входить декілька таких аналогових контролерів управління освітленням.

Інтегровані цифрові системи управління освітленням

Для подолання вказаних недоліків і труднощів виробники освітлювальних систем запропонували виробництво цифрових систем управління освітленням. **Основна перевага** цифрових систем в порівнянні з аналоговими – це комунікація, зв'язок між окремими пристроями, об'єднаними в систему.

У цифрових системах для зв'язку не потрібно окремі дроти. Переважна більшість цифрових пристроїв можуть використати для передачі інформації силові кабелі.

Цифрові системи управління освітленням можна легко інтегрувати в інші системи автоматизації і управління. Таким чином, можна дуже гнучко і просто

з одного місця керувати освітленням, кондиціонуванням, опалюванням, відеоспостереженням. Подібні рішення все більше і більше застосовуються в об'єктах розумного будинку і інтелектуальних офісів.

Призначення інтегрованих систем управління освітленням – це, передусім збільшення енергоефективності, підвищення комфорту житла, поліпшення експлуатаційних характеристик виробничих будівель. Передові технології управління освітленням дають ще більшу економію, мають додаткові можливості і мають цілий ряд переваг в порівнянні з простими методами управління.

Система цифрового управління освітленням окрім самого джерела світла включає:

- контролер цифрової шини управління (КШ);
- цифрову шину управління (ШУ);
- командні органи (КО);
- виконавчі органи (ВО).

Існують також різні шлюзи, перехідні модулі для сполучення системи управління з іншими системами диспетчеризації або інформаційними системами, а також для взаємодії з апаратами, спочатку не розрахованими на роботу у складі цифрової системи управління освітленням.

Контролер цифрової шини (КШ) – електронний блок, що має пам'ять, засоби обміну даними з оператором-програмістом, модулями обробки сигналів від КО, модулями формування команд для ВО. Зазвичай встановлюється в щиті освітлення або управління освітленням, але зустрічаються КШ для відкритої установки.

Цифрова шина управління (ШУ) – фізичне середовище, призначене для обміну цифровими сигналами між КШ і КО, КШ і ВО, зазвичай є кабелем з мідними жилами невеликих перерізів. Застосовуються як силові, так і контрольні і сигнальні кабелі. У особливих випадках також використовується кабель типу «вита пара».

Командні органи – апарати, використовувані для вироблення команди на зміну режиму роботи ОУ, що підлягає управлінню. Спонуванням на вироблення команди може бути дія оператора (натиснення на кнопку вимикача або ІК-пульта, поворот регулятора, вибір пункту меню на сенсорній панелі) або зміна умов в навколишньому просторі (зміна освітленості, поява в зоні видимості об'єкту, що рухається, і т. п). Командні органи зазвичай мають адресу (свій особистий або адреса групи).

Виконавчі органи – апарати, які по команді КШ передають дію, що управляє, безпосередньо ОУ для зміни режиму її роботи.

Для світильників з газорозрядними лампами і світлодіодних модулів ВО поєднаний з ЕПРА.

Для світильників з ГЛН низької напруги ВО поєднаний з електронним трансформатором, що живить лампу. Для світильників з лампами розжарювання або ГЛН на мережеву напругу ВО є регулятором напруги, виконаним у вигляді пенала поряд зі світильником або встановлений в щиті. Виконавчий орган, так само як і КО, має адресу на шині, присвоєну індивідуально або групі.

Принципова схема управління освітленням по цифровій системі представлена на рисунку 5.2.

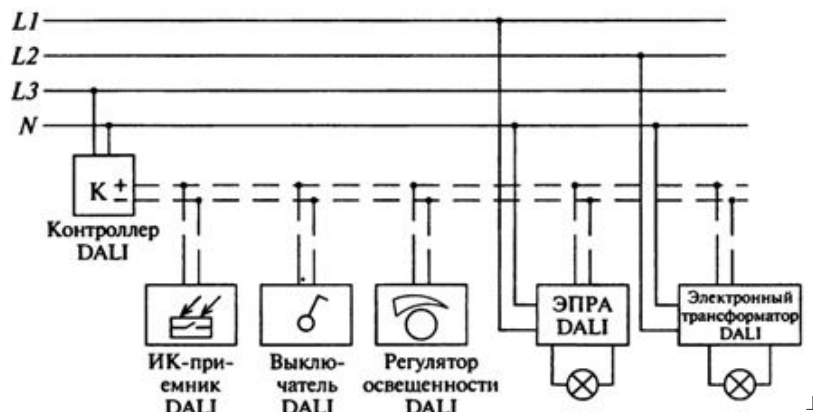


Рисунок 5.2 – Управління освітленням за цифровою схемою

Достоїнства і недоліки цифрового управління освітленням

Необхідність власне управління освітленням не потребує доказу, в той же час не завжди потрібна побудова саме цифрової системи, бо ціна її нині досить висока в порівнянні з аналоговою. Тому розглянемо плюси і мінуси цифрових систем і можливі сфери їх застосування.

Достоїнства:

- простота організації – організація груп управління ніяк не впливає на організацію живлення світильників. Кількість світильників на фазу обмежується лише вимогами ПУЕ по максимальному числу ламп відповідної потужності;
- гнучкість структури – якщо потрібно, можна змінити логіку управління світильниками, число і склад груп усього лише зміною програми КШ. Перекладати які-небудь кабелі немає необхідності. Підключення КШ через шлюз до комп'ютера або іншого інтелектуального пристрою дозволяє мати практично необмежену кількість світлових сценаріїв і частоту їх зміни;
- розширюваність – можливість управління безліччю дрібних груп світильників, до однієї штуки в групі, без істотного ускладнення структури;
- простота монтажу – підключення нових пристроїв не супроводжується додатковими операціями, окрім установки самих пристроїв, підключення до шини і зміни програми КШ;
- уніфікація – всі КО і ВО підключаються за єдиним принципом, сумісні з компонентами інших виробників для того ж протоколу;
- безпека – немає необхідності підводити мережеву напругу до вимикачів, досить напруги шини, яка завжди менше допустимих 50 В;
- зручність експлуатації – ВО можуть повідомляти контролеру про виниклі несправності, а той – формувати застережливий сигнал диспетчерові.

Недоліки:

- висока ціна компонентів – цифрові пристрої мають доки більш високу ціну, ніж аналогові. Часто постачальники ще і завищують ціну «за престижність», «модність» системи. Побічно це також призводить до збільшення небезпеки крадіжки компонентів, встановлених в зонах неконтрольованого доступу;
- висока вартість ядра – навіть проста цифрова система вимагає початкового комплексу апаратів для свого функціонування. Управління навіть

одним світильником потребує і КШ, і ВО, і КО;

– необхідність високої кваліфікації персоналу – для проектування, ремонту і наладки цифрових систем потрібно мати особливі технічні знання і високу кваліфікацію.

ТЕМА 6 Протоколи управління світловими приладами

Термін «управління» включає цілий набір методів, протоколів і пристроїв для експлуатації світлових приладів. Простими видами управління є включення/виключення і регулювання світлового потоку. Управління повнокольоровими білими світлодіодними світловими приладами, що настроюються, дозволяє отримати різні RGB кольори, відрегулювати колірну температуру, а також створити прості малюнки з кольорами, що змінюються, складні світлові шоу (доступні як простим користувачам, так і професійним режисерам-постановникам) і навіть великомасштабні відеоекрани. Динамічні світлодіодні світлові прилади зазвичай управляються за допомогою сигналів, що поступають із **спеціально розроблених для цього контролерів** з використанням комунікаційних протоколів, призначених для управління джерелами світла.

Отже, світлове устаткування функціонує за допомогою різних протоколів управління. Їх налічується відразу декілька штук, що пропонує користувачам широкий простір для дій.

Комунікаційний протокол – це стандартний набір правил для передачі сигналів і інформації по каналу зв'язку.

Разом із розвитком світлотехнічної промисловості розвивалися також і комунікаційні протоколи.

Найбільш популярним форматом управління світильниками зі зміною кольору є DMX-512A, або скорочено просто DMX.

У 1986 році Комісія USITT (US Institute for Theatre Tehnology – Інститут театральних технологій США) розробила протокол DMX-512 – відкритий стандарт цифрової передачі даних між пультом управління світлом і димерами для управління театральним і сценічним освітленням.

DMX-512 (англ. digital multiplex – цифровий помножувач) розроблений з метою стандартизації управління димерами з освітлювального пульта. Цей стандарт був розроблений для цифрових мереж передачі даних, використовуваних для управління світлодіодними джерелами світла і іншими пристроями. Він є ущільненим цифровим протоколом, здатним працювати з 512 пристроями. Сьогодні функції цього протоколу значно ширші, ніж передбачалося спочатку. З освітлювального пульта управляються цифрові світлові прилади, колорченджери, ліри, стробоскопи, димові машини, лазери, фонтани, сценічна техніка. Обмін можливий тільки в одному напрямі і не передбачає перевірки і виправлення помилок.

DMX – стандарт, що описує метод цифрової передачі даних між контролерами і світловим, а також додатковим устаткуванням. 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 крайовими

пристроями, зробленими різними виробниками.

За стандартом DMX-512 кожен передавач сигналу може управляти приладами – димерами, сканерами, скролерами і так далі – кількістю до 32. Усі ці прилади з'єднуються послідовно. Для використання більш ніж 32 приладів потрібний розгалужувач DMX (splitter), що має один вхід і декілька виходів, до кожного з яких може бути підключені до 32 приладів.

Широке поширення протоколу DMX-512A пояснюється декількома причинами:

- у його основі лежить інтерфейс EIA485 (RS485);
- простота виконання;
- висока надійність;
- можливість управління декількома мережами світильників по трьох дротах;
- невисока вартість елементної бази;
- інтерфейс управління ізольований від світильника, тобто захищений.

Типова структура мережі DMX показана на рисунку 6.1. Контролер підключається до лінії сполучених послідовно світильників. Стандарт EIA485 призначений тільки для систем з послідовно включеними світильниками. У кожному сегменті може бути до 32 пристроїв, загальна довжина сполучного дроту – 1 км.

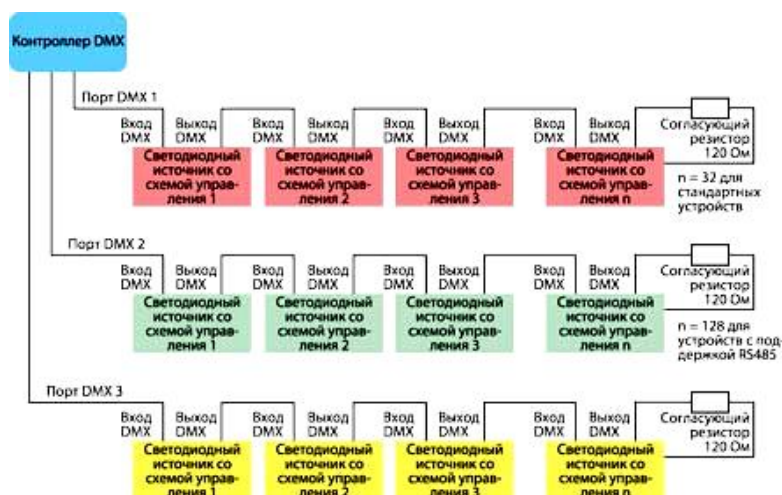


Рисунок 6.1 – Система освітлення з інтерфейсом DMX

Деякі виробники драйверів світлодіодів заявляють, що до одного порту DMX може бути підключене будь-яка кількість драйверів. У офіційному стандарті це не підтверджується.

Більшість світлодіодних світильників мають три канали, по одному для кожного кольору, використовуваного в приладі, – зазвичай червоного, зеленого і синього. Відповідно, кожен світильник отримує від контролера три окремі канали даних DMX, один з яких використовується для червоних світлодіодів, другий для зелених, а третій для синіх. Перший світильник установки може бути запрограмований на отримання даних DMX по адресах 1, 2, і 3; другий - на отримання даних DMX по адресах 4, 5, і 6; і т. д.

Одна система DMX може включати максимум 170 трьохканальних світлових приладів ($512 \text{ ділене на } 3 = 170$ плюс два невживані канали), що однозначно адресуються. Система освітлення може включати одну або декілька систем DMX.

DMX контролери випускаються в різних конфігураціях, від дуже простого трикнопового пристрою до повністю комп'ютеризованої системи, принцип роботи у них однаковий: DMX контролери використовуються для створення складних колірних ефектів на ПК за допомогою програмного забезпечення, що додається. Як правило, усі вони мають USB – порт для підключення до ПК, власне мережеве джерело живлення 220В (виносний або вбудований), програмне забезпечення, спеціальні роз'єми (RJ-45, RJ-11 або XLR-3).

Сигнал DMX виникає в контролері і доставляється по кабелю до першого світлового приладу, а потім до наступного, до наступного, відповідно до послідовності підключення пристроїв. На рисунку 6.2 схематичне зображення показує правильний спосіб і порядок підключення декількох світильників до одного контролера. Дріт DMX проходить від контролера до «DMX входу» на першому пристрої. З «DMX виходу» першого приладу, дріт підключений до «DMX входу» наступного в лінії пристрою, і так далі, поки усі прилади не будуть сполучені кабелем, підключеним до DMX контролеру. Останній пристрій в лінії повинні мати DMX термінатор, встановлений для підтримки якості сигналу DMX.

Термінатор (від лат. terminare – обмежувати) – в електроніці, поглинач енергії (зазвичай резистор) на кінці довгої лінії, опір якого дорівнює хвильовому опору лінії, встановлюваний для відвертання відображення сигналу.

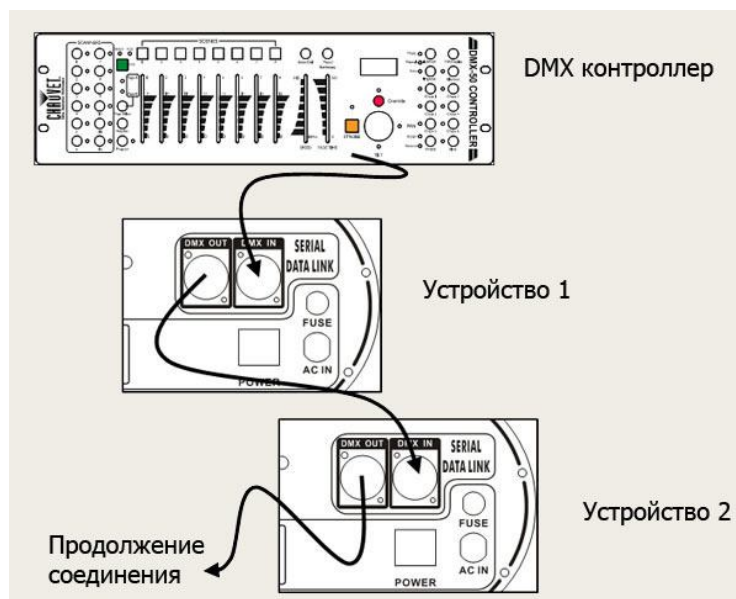


Рисунок 6.2 – Спосіб і порядок підключення декількох світильників до одного контролера

Основний недолік протоколу DMX – одностороння передача від контролера до джерела світла. Відповідно, неможливо проводити моніторинг стану світильників і відстежування збоїв.

DMX використовується у більшості театральних пультів управління освітленням, але ці пульти зазвичай занадто громіздкі, складні, спеціалізовані і дорогі для загальних областей застосувань. Тому деякі виробники динамічних світлодіодних світильників розробляють і випускають свої власні DMX-контролери. Вони є компактнішими, ніж театральні пульти управління

освітленням, і частенько мають спеціальні функції, такими як запрограмовані послідовності для світлових шоу і вбудовані світлові ефекти, розроблені для того, щоб спростити і автоматизувати управління світлом звичайними користувачами.

Протоколи двобічного обміну

Серед безлічі протоколів управління освітленням двобічного обміну міжнародне визнання отримали Digital Addressable Lighting Interface (DALI), Remote Device Management (RDM), Architecture for Control Networks (ACN) і KNX.

Розглянемо **протокол RDM** (Remote Device Management), який отримав міжнародне визнання, з підтримкою зворотного зв'язку.

Цей протокол є модернізацією протоколу DMX512, що дозволяє отримувати дані від джерела світла по стандартних лініях DMX. Можливі конфігурації, моніторинг статусу, управління RDM – пристроями, зчитування основних показників (споживаний струм, робоча температура, час роботи, напруга в мережі, індекс передачі кольорів та ін.), – і усе це, не заважаючи основній роботі стандартних DMX – пристроїв, які не підтримують RDM.

Велика гідність RDM полягає в тому, що він сумісний з DMX, що дозволяє використати існуючу інфраструктуру. Протокол створений організацією ESTA у рамках програми розробки технічних стандартів. Пакет DMX залишений без змін. Передача даних для RDM – пристроїв здійснюється в проміжках між пакетами. Облаштування RDM мають унікальний ідентифікаційний номер, по якому контролюючий пристрій його розпізнає.

Системи освітлення RDM мають наступні переваги:

- можливість встановлювати базову адресу світильника. Це прискорює установку освітлювальних приладів і позбавляє від необхідності привласнювати DMX – адреси вручну;
- оновлення програмного забезпечення через інтерфейс RS485;
- можливість створення DMX – систем з підтримкою Ethernet (протоколу ACN і так далі);
- управління окремими пристроями або групою;
- одночасне управління усіма пристроями в мережі;
- передача статусних повідомлень (наприклад, про збій) від одного, декількох або усіх пристроїв в мережі;
- автоматичне розпізнавання освітлювальних приладів;
- простий принцип утворення груп світильників;
- автоматичне затемнення усіх приладів відповідно до вибраної сцени;
- елементи інтелектуальної системи (індивідуальна адреса, розбиття на групи, передвстановлені сцени, час згасання і так далі).

Інтелектуальний інтерфейс DALI

Нові вимоги відносно енергозбереження вимагають також багато і від управління освітленням, тому провідні європейські виробники компонентів для світильників (Helvar, Osram, Philips) створили в 1999 році новий цифровий відкритий протокол управління світлом **DALI (Digital Addressable Lighting Interface** – цифровий інтерфейс освітлення, що адресується).

Він прийшов на зміну системі управління DSI (Digital Serial Interface). Управління освітленням можна розглядати як свого роду мистецтво, яке може знадобитися при освітленні театральної сцени, виробничих приміщень, вулиці і, нарешті, житла. Останнім часом усе більш популярним і поширеним стає «розумний будинок». Тому система управління освітленням є однією з його складових частин, і, забезпечуючи комфортність житла, займає не останнє місце. В якості такої частини практично ідеально підходить система DALI.

Вибір параметрів будь-якої системи управління диктується завданням, яке належить виконати з її допомогою. Важливо, щоб нова система могла досить просто інтегруватися у вже існуючу, об'єднатися з нею, працювати разом, а не замість неї. У плані інтеграції в інші системи управління система DALI досить проста і економічна.

Система управління освітленням на базі інтерфейсу DALI може бути легко інтегрована в різні системи автоматизації управління будівлею, такі, як LON, BACNet, KNX/EIB. Для такого об'єднання багато фірм випускають шлюзи KNX – DALI і LON – DALI. Цей союз дозволяє скоротити терміни на монтаж системи, зробити її в цілому менш витратною, а також гнучкішою в управлінні.

Стандарт протоколу і апаратні засоби DALI призначені тільки для управління освітленням, що говорить про вузьку спеціалізацію цієї системи. Тому в цілому система вийшла високоефективною і недорогою. Підключення пристроїв, працюючих по протоколу DALI показано на рисунку 6.3.

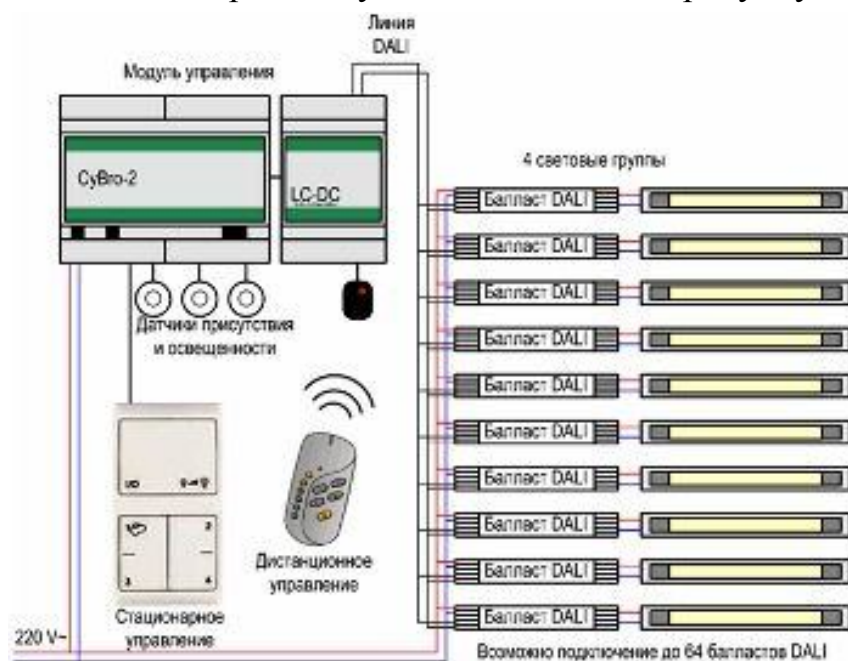


Рисунок 6.3 – Структурна схема системи DALI

Передача даних і програмування системи

Нині система DALI стандартизована згідно стандарту IEC 60929. Як показано на рисунку 6.3 зв'язок між контролером DALI і окремими пристроями здійснюється по двопровідній лінії. Лінія DALI – інтерфейсу двобічна, що дозволяє передавати інформацію як від контролера до периферійних пристроїв, так і назад.

Сигнал управління DALI передається по двох дротах на напрузі 15 В

(це може бути будь-яка мідна пара, будь то вита пара або додатково прокладений силовий кабель). Максимальна довжина лінії управління не повинна перевищувати 300 м, дотримуватися полярності не обов'язково.

Мережа на базі шини DALI не має центрального процесора, тобто децентралізована. Така організація дозволяє підключати в цю мережу будь-які пристрої, призначені для роботи з шиною DALI. Такі пристрої, як правило, мають вбудовану енергонезалежну пам'ять, що дозволяє зберігати різну інформацію. В першу чергу це адреса пристрою, інформація про пристрій і стан підключених до нього світильників, і цілі набори команд, що іменуються також сценаріями.

У системі DALI, так само як в аналоговому протоколі 0 – 10 В, інтенсивністю світлового потоку світильника управляє електронний баласт. У разі, якщо управлінню підлягають світильники із звичайними ЛН або ГЛН 220 В, де спочатку не було ніякого електронного баласту, регулятор напруги лампи виноситься до світильника або вбудовується в нього. Командні органи також підключаються до шини DALI.

Кожен баласт і кожен КО має свою власну адресу. Всього один контролер DALI може працювати з 64 пристроями, максимум в 16 керованих окремо групах. Контролери DALI далі інтегруються в загальну шину диспетчеризації будівлі (таку, як EIB, LonWorks, C – Bus і тому подібне) через відповідні шлюзи. Для невеликих об'єктів можливо і окреме функціонування DALI – контролера, якому окрім безпосередньо управління освітленням можуть бути доручені управління приводами жалюзі, а також прості системи безпеки.

Керовані по DALI баласты можуть повідомляти контролер про несправності, такі як перегоріла лампа або спрацьовування теплового захисту самого баласту. Контролер DALI може зберігати до 16 світлових сцен, що викликаються з потреби.

Однією з переваг DALI є те, що все КО і ВО можуть бути гальванічно розділені, немає ніякої необхідності вести до вимикачів ту ж фазу, що і до світильників, та і розводка силових груп по світильниках зовсім не зобов'язана співпадати з логічно певними групами управління (світловими сценами).

У ролі КО виступають: датчики присутності/руху, кнопкові і дистанційні вимикачі і регулятори рівня, таймери, датчики освітленості, сенсорні панелі, ІК–приймачі, керовані з пульта, а також комп'ютери, що управляють інженерними системами будівлі. Сенсорні панелі можуть бути як спеціально розробленими для протоколу DALI, так і що сполучаються з ним через шлюзи.

Світлові сцени можуть викликатися за допомогою будь-кого КО, будь то сенсорні панелі або навіть звичайні вимикачі, традиційно використовувані для некерованого освітлення.

В ролі ВО виступають: ЕПРА газорозрядних ламп, електронні трансформатори 220/12 В для галогенних ламп розжарювання, пенальні і щитові димери для ламп розжарювання і галогенних ламп 220 В, ПРА світлодіодних світильників, приводи воріт, жалюзі, контролери мікроконтакторів, релейні модулі. Існують також перехідні модулі, що дозволяють DALI – контролеру управляти аналоговими баластами 0 – 10 В.

Програмування системи в цілому досить просто. Кожне повідомлення, яке

отримує пристрій від контролера DALI складається з двох частин – **адреси і команди**. В цілому команда може виглядати так: {Device 0022, 25 %}. Це означає, що пристрою з адресою 0022 повинно включити освітлення на 25 % потужності.

Слід зазначити, що димірування (регулювання потужності) в системі DALI можливе лише у разі застосування ламп розжарювання. Можливо також об'єднання пристроїв в групи, тоді команда може виглядати приблизно так: {Group 0210, Script 7}. Така команда повідомляє пристрої, що входять до групи Group 0210, що слід виконати сценарій Script 7.

У сценарії міститься деяка послідовність команд, наприклад, {OFF, 10 %, 50 %, 100 %, 50 %, 10 %}. Згідно з цим набором команд вимагається відключити вказану групу, а потім змінити потужність, згідно вказаної у відсотках. Команди, що передаються по лінії зв'язку можуть бути індивідуальними для кожного пристрою, для групи пристроїв або для усіх пристроїв відразу (широкомовні).

Протокол DALI побудований таким чином, що дозволяє адресувати безпосередньо 64 пристрої, підключених до однієї лінії управління. Якщо виникає необхідність у більшій кількості керованих пристроїв, то використовуються DALI – роутери (маршрутизатори), які дозволяють збільшити місткість DAL – мережі до 200 пристроїв. Якщо ж і такої кількості недостатньо, то для об'єднання DALI – роутерів застосовуються DALI – шлюзи. При цьому кількість адрес зростає максимум до 12800.

Для проектування DALI – мереж застосовується спеціальне програмне забезпечення. Якщо передбачається мережа, що містить не більше 200 адрес, що відповідає одноранговій мережі в межах одного DALI – роутера, то для цих цілей цілком достатньо базового пакету програм (наприклад, Helvar Toolbox). Для створення масштабніших мереж з використанням DALI – шлюзів знадобиться розширений пакет (наприклад, Helvar Designer).

Дії, що виконуються системою DALI

Передусім, це просте включення – виключення, як окремих світильників, так і цілих груп. Окрім цього можливо димірування ламп розжарювання. При диміруванні декількох груп світильників передбачена їх синхронізація.

Одно облаштування управління DALI може відтворювати до 16 світлових сценаріїв і отримувати і зберігати інформацію про різні параметри системи: справність світильників, включений або вимкнений світильник, заданий рівень освітленості.

Електронні баласты DALI автоматично знаходять облаштування управління, при цьому усередині баластів зберігаються різні установки. Передусім, це адресація пристроїв, світлові сценарії, розподіл по групах, швидкості димірування, значення потужності аварійного освітлення.

У складі системи DALI передбачено використання датчиків руху, присутності і освітленості, що дещо розширює функціональність пристрою в цілому. Завдяки цьому можливе програмування світлових сцен з урахуванням денного освітлення. Датчики руху програмуються на час спрацьовування до 30 хвилин.

Програмування і управління системою досить просто і здійснюється

кнопками із замикаючим контактом.

У разі відключення електроенергії DALI – контролер запам'ятовує поточний стан, а при відновленні енергопостачання автоматично відновлює останній робочий стан. Тому збоїв в роботі системи не відбувається.

Протокол управління KNX

KNX – протокол управління будівлею, що ґрунтується на трьох стандартах: EHS – European home systems, BatiBUS і EIB(Instabus) – European installation bus.

Стандарт EIB популярний, передусім, за рахунок своєї простоти і надійності. На відміну від традиційної системи управління інженерним устаткуванням, де для кожного функціонального елементу потрібна власна лінія управління, а для кожної інженерної системи – окрема мережа, в системі EIB силова електропроводка прокладається тільки між виконавчими пристроями (реле, регуляторами і т. д.) і власне споживачами, а усі системні елементи (датчики, контролери) вимагають об'єднання тільки сигнальним кабелем (шиною управління). Завдяки цьому силова частина виконується без обхідних шляхів. Це зменшує витрату силового кабелю, кількість з'єднань, втрати і, як наслідок, знижує вірогідність виникнення пожежі і підвищує надійність силового ланцюга, спрощує електромонтажні роботи. Електропроводка надалі може бути легко розширена і модифікована.

Мережа EIB – це децентралізована система, що не вимагає центрального управління у вигляді персонального або спеціалізованого комп'ютера. При зміні функціонального призначення устаткування або переплануванні приміщень забезпечується швидка адаптація системи EIB шляхом простого перепрограмування шинних приладів без прокладення нових ліній, а додатковий прилад або датчик може бути встановлений у будь-якому місці, де є можливість підключення до кабелю управління. Порушення роботи одного або декількох пристроїв не призводить до порушення роботи усієї системи. Цим забезпечується висока надійність і зручність експлуатації, оскільки заміна приладів робиться без відключення живлення.

Система EIB дозволяє здійснювати функції охорони об'єкту і активний режим економії електричної і теплової енергії, що робить її такою, що самоокуповується. Усі ці важливі переваги наочно ілюструють простоту і доступність проектування і управління системою.

Передача даних може робитися по декількох середовищах:

- вита пара (9600 біт/с);
- електромережа (1200 біт/с);
- радіоканал (16,384 кбіт/с, 868 МГц, 25 мВт);
- лінії Ethernet.

Протокол KNX не прив'язаний до якої-небудь апаратної платформи. Визначено три категорії пристроїв:

- тип А – з автоматичним налаштуванням. Це устаткування кінцевого користувача;
- тип Е – з легким налаштуванням. Ці пристрої мають ряд параметрів, які

треба задати вручну відповідно до вимог користувача;

–тип S – системні пристрої. Використовуються при створенні замовлених систем управління будівлею. У них немає передвстановлених ліній поведінки. Програмування і установка здійснюються фахівцем.

Інтелектуальні системи освітлення безперервно розвиваються. Поки єдиного стандарту немає, і боротьба між існуючими протоколами передачі триває. Очевидно, що майбутнє за протоколами двобічного обміну. Нині в цій області домінують RDM і DALI, проте остаточно лідер ще не визначився.

Найсерйознішою перешкодою для створення єдиного стандарту є несумісність мережевого устаткування. У цьому сенсі не допомагає навіть створення контролерів, що підтримують поширені інтерфейси, такі як Ethernet. Зміна протоколу – дорога і складна процедура, вона ставить під сумнів майбутнє поточних проектів, на які вже витрачені немало ресурсів, тому виробники дуже неохоче на це йдуть.

Управління за допомогою мережі Ethernet

Оскільки світлодіодні світлові прилади за своєю природою є цифровими пристроями, управління роботою систем освітлення може виконуватися за допомогою мережі Ethernet. Системи на базі Ethernet не мають таких обмежень по адресації, як системи на базі DMX, тому вони є переважними для більших установок. Управління по мережі Ethernet потрібно для великомасштабних відеоустановок, в яких повинні забезпечуватися адресація і управління роботою великої кількості світлодіодів, число яких може вимірюватися тисячами.

Інші варіанти управління

DMX512 і Ethernet – це два найбільш поширених комунікаційних протоколу, використовуваних для управління роботою світлодіодних систем освітлення, але також використовуються і інші варіанти:

–У Європі замість DMX широко використовується протокол зв'язку DALI.

–Деякі компанії розробили свої власні, захищені патентами, протоколи зв'язку на базі Ethernet, наприклад KiNET для систем освітлення Philips Color Kinetics.

–ACN і Streaming ACN – це стандартні методи передачі даних, розроблені Entertainment Services & Technology Association (ESTA) для передачі даних DMX через мережу Ethernet. Streaming ACN – це нарощуваний метод передачі даних для великої кількості систем DMX.

І це лише деякі з можливих варіантів. Як це часто трапляється, при збільшенні кількості варіантів виникає проблема, пов'язана з сумісністю. Іноді можна використати перетворювачі для підключення світильника, розрахованого на один комунікаційний протокол, до контролера, працюючого з іншим протоколом. Склад системи може швидко ускладнитися, тому краще всього використати компоненти, розроблені для спільного використання.

Як вказувалося вище, для управління світильниками зі змінюваним кольором освітлення або з можливістю налаштування білого світу може використовуватися DMX або інший комунікаційний протокол, призначений для управління. Будь-який з цих інтерфейсів, що управляють, може використовуватися для регулювання світлового потоку світильників,

зменшуючи його однаково в усіх каналах.

На практиці регулювання світлового потоку зазвичай є стандартною функцією контролерів, клавіатур і інших пристроїв, спеціально розроблених для конкретних моделей світлодіодних світильників.

ТЕМА 7 Системи інтелектуального управління освітленням

Системи управління освітленням в «розумному будинку»

З того часу, як людина освоїла електрику, штучне світло стало невід'ємною частиною життя і звичного комфорту. Вже складно уявити, як можна обходитися без світла – ми не можемо ні читати, ні писати, ні жити звичним для нас життям. Основна діяльність обмежується тривалістю світлового дня і ставить нам масу обмежень.

У квартирі, наповненій світильниками різних типів, форм і розмірів, досить непросто створити затишний і комфортний світловий режим. Доведеться враховувати пору року і доби, настроїв і вид виконуваної роботи, присутність гостей і багато інших чинників.

Інтелектуальне управління освітленням позбавляє від необхідності постійно клацати вимикачами і періодично міняти потужність лампочок, дозволяє понизити витрати на електроенергію, економить час і нерви.

Переваги інтелектуальної системи освітлення будинку очевидні. Наприклад, необхідно прокинутися рано вранці взимку. За вікном дуже темно і першою дією буде включити світло. Доведеться відразу примружитися, поки очі не звикнуть до яскравого світла. Система управління освітленням, налаштована на певний годинний режим, включить світло сама, автоматично регулюючи яскравість. У кімнаті буде імітовано прискорений оптимальний для очей перехід від напівтемряви до світлового дня. Інтелектуальне освітлення повністю оновлює звичні способи розподілу світлових потоків. Звичайні, старі люстри відходять в минуле. Їм на заміну приходять системи з великою кількістю світильників, якими можна управляти.

У сучасних системах використовують близько 10 видів різних світильників для створення певних світлових зон. При цьому відсутня величезна кількість вимикачів, і немає необхідності постійно включати або вимикати окремі лампи для досягнення необхідного рівня освітленості. Інтелектуальне освітлення спрощує дії до натиснення необхідної кнопки.

Є режими, які призначені для комфортного перебування на кухні – приготувати їжу та перекусити стає затишно. При перегляді відео і телепрограм раціонально використати інший режим з більше затемненим світлом. Вирішили трохи відпочити в улюбленому кріслі, натиснули кнопку – і знову світлова картина плавно змінюється.

Система інтелектуального освітлення об'єднує усі джерела будинку, тому не треба обходити усі кімнати, перевіряючи їх перед виходом з будинку. Знову натискаєте єдину кнопку, і світло автоматично згасло скрізь.

Система управління освітленням дозволяє легко контролювати усі світильники завдяки безпроводним засобам управління або настінним

сенсорним панелям. Сенсори руху можуть автоматично вимикати освітлення, якщо людина покидає кімнату. І коли приходить час лягати спати, лежачи в ліжку, можна одним натисненням кнопки запустити виконання сценарію «Ніч» для виключення усіх основних світильників, включення зовнішнього охоронного освітлення, і залишити освітлення, там, де є необхідність.

Система управління освітленням – це захист і безпека. Світло може захистити не лише від зловмисників, але і запобігти нещасним випадкам, як, наприклад, падіння зі сходів. Також можна запрограмувати сценарії для симуляції присутності в той час, коли удома нікого немає. Просто встановити відповідний режим «Немає удома» і система освітлення включатиме і вимикатиме світло, створюючи ілюзію присутності будинку, ефективніше, ніж звичайні таймери.

Світильники можуть бути запрограмовані на автоматичне включення при наближенні до будинку, при піднятті воріт гаража і т.д. Можна активувати сценарій «Я удома» за допомогою мобільного телефону, і до повернення усі необхідні світильники будуть включені.

Важливим також є аспект економії. Плавне включення світильників продовжує час служби ламп майже удвічі, а особливе налаштування включатиме їх тільки в присутності в кімнаті людини. Приглушення світла на 10 відсотків допомагає зберегти енергію і в той же час не приносить помітних змін в освітленні кімнати. Система управління освітленням робить це автоматично, звільняючи хазяїна будинку від зайвого занепокоєння і нескінченного сум'яття з численними димерами. Кімнатні сенсори можуть автоматично вимикати світло, коли в кімнаті нікого немає.

Система управління «розумним будинком» за технологією KNX

Зрозуміло, що найбільша міра комфорту для домочадців може бути досягнута лише одним способом – побудовою єдиною системою управління усіма електроприладами в межах одного приміщення. Для здійснення цього завдання необхідно, щоб ці електроприлади підтримували спільну «мову» управління з цією метою в Європі була розроблена **технологія KNX або єдиний стандарт приймача**.

Загальний канал зв'язку між усіма існуючими у будинку електроприладами дозволяє їм передавати і приймати інформацію від системних пристроїв, керованих спеціалізованими програмами. За принципом роботи система KNX зовні схожа на локальну мережу зв'язку між комп'ютерами, проте вона використовується значно ширше – отримані від датчиків сигнали обробляються системними пристроями, вироблені на основі програмного аналізу даних команди поступають до одного виконавчого механізму або декільком відразу, причому при отриманні команди кожен виконавець підтверджує її отримання.

Система управління будинком, ґрунтована на технології KNX, дозволяє управляти усіма електроприладами одночасно лише натисненням однієї кнопки. Сценарії, наслідуючи які система управління створює необхідний рівень комфорту для домочадців, програмуються ними згідно з особистими потребами.

До складу системи входить метеорологічний комплекс, що управляє

температурою повітря в приміщеннях на основі аналізу стану атмосфери зовні будівлі – при потеплінні інтенсивність опалювання знижується, збільшується доступ зовнішнього повітря. І, навпаки – при посиленні вітру вікна будуть автоматично прикриті, доступ зовнішнього повітря зводиться до мінімуму.

Будинки, обладнані такою системою управління, можна без побоювання залишати на час відпочинку – електроприлади наслідуватимуть запрограмований сценарій, повністю імітуючи присутність домогосподарів.

Системи управління сценічним освітленням

Види пристроїв для створення світлових ефектів

Більшість світлових приладів у сфері розваг діляться по функціональності на три основні категорії:

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

Прилади світлових ефектів (Effect Lights)

Так називають прилади, які використовують декілька пучків світла і їх рух в цілях створення бажаного ефекту. Світлові ефекти потрібні для створення шоу, а не для освітлення конкретної області або особи. Деякі прилади в цій категорії включають ефекти «місячна квітка»/moonflowers, гобо/gobo-проектори, а також класичні «дербі»/derby ліхтарі.

Гобо – проектори – освітлювальні прилади, які використовують високоякісну оптику для проектування різних форм на великі поверхні. 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 міняти колір світлового пучка, але частіше можна побачити обертання гобо, яке створює динамічні ефекти проекції. Окрім танцювальних майданчиків, часто використовують гобо для проектування корпоративних логотипів на різних презентаціях.

Промінь-ефекти / Beam effects – прилади, що складаються з безлічі різних кольорових лінз, розташованих навколо центрального джерела світла і вбудованих в сферичні або півсферичні пристосування, також відомі як mushroom. Промінь-ефекти можуть мати одну або декілька сфер, що забезпечені мотором і обертаються навколо лампи безперервно, а можуть міняти напрям обертання залежно від отриманих звуків у вбудованому мікрофоні (наприклад, міняючи напрям з кожним ударом барабанів). При використанні у поєднанні з генераторами туману, кольорові промені надзвичайно ефективні.

Квіткові ефекти / Flower effects – автономні прилади з джерелом світла і з такими регульованими атрибутами, як колір променя, тип гобо, обертання, прилади, в яких все контролюється автоматично за допомогою вбудованого мікрофону. Ці атрибути можуть обертатися, залишатися незмінними, або спрацьовувати залежно від конкретних звукових частот. Відсутність DMX – контролю робить прилади Flower effects незручними для великих майданчиків, але завдяки простоті установки і використання вони прекрасно підходять для

невеликих площ.

Центральні прилади ефектів / Centerpiece – прилади, призначені для створення симетричних (відносно центральній осі) світлових ефектів. Як випливає з назви, ці прилади призначені для розташування в центрі установки освітлення, як правило, безпосередньо над танцювальним майданчиком або сценою. Їх конструкція складається з центральної лампи в оточенні дзеркал, які відбивають світло на всіх напрямках. Для зміни зовнішнього вигляду ефекту можуть використовуватися різні типи дзеркал. Ці прилади використовують газорозрядні лампи і складаються з дихроїчних або простих дзеркал і моторів, якими управляє складна електроніка. Ці центральні прилади, як правило, добре працюють разом з Flower effects.

Існують дві основні групи центральних світлових приладів:

- прості центральні ефекти – управління кольором, напрямом променів і типом гобо відбувається через внутрішній мікрофон, синхронізуючись з аудіо. Автоматичний режим в такт музиці по записаних в пам'яті приладу програмах;

- складні центральні ефекти – управління DMX512 сигналом, а саме програмування руху дзеркал, вибір трафаретів і т. д.

При виборі центральних приладів необхідно орієнтуватися на такі як:

- площа (при певній висоті розміщення приладу), що покривається;
- кількість променів.

Основні ефекти – хаотичне обертання світлових променів, що міняють свої кольори і малюнки (за наявності додаткових трафаретів). Рух променів може здійснюватися як саме по собі, так і в такт музики. Управляються спеціальними пультами управління світлом або DMX – контролерами.

Основна сфера застосування професійних центральних приладів – дискотеки і нічні клуби, рідше – театри і ресторани.

Сканер / Scanner – світловий прилад, що використовують для керованого просторового динамічного переміщення світлового променя, що є кольоровим зображенням візерунка.

Основними відмітними ознаками сканерів є:

- створення чіткого променя світла з можливістю його точного позиціонування в просторі за допомогою дзеркала на виході променя, що сканує в 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 лінз, які контролюються двома моторами для переміщення у вертикальній і горизонтальній площинах, джерело світла розташоване на самому кінці сканера. Переміщення світлового променя відбувається досить швидко, оскільки для цього необхідно тільки трохи повернути дзеркало усередині приладу.

Професійні сканери характеризуються:

- потужністю і типом використаної лампи;
- кількістю металевих і/або дихроїчних трафаретів (гобо), можливістю їх обертання і накладення;

- кількістю створюваних кольорів (у тому числі ефекти «bicolor» і «веселка»);
- наявністю призми з можливістю обертання, діафрагми, димера, різних фільтрів, що коригують, керованого фокусу, ефектів з регульованою частотою і т. д.

Головна перевага сканерів – практично миттєве переміщення променя, недолік – обмежена область сканування. Багато хто називає сканери альтернативною «голів, що обертаються». І ті, і інші прекрасно підходять для освітлення сцени, за винятком того, що «голови, що обертаються», позбавлені головного недоліку сканерів – обмеження області освітлення. Переміщення променя у «голів, що обертаються», відбувається не за допомогою дзеркала, а за допомогою руху усього приладу разом з лампою і лінзами.

Колорченджеры / Color Changers – прожектори з автоматичною зміною кольору. Вони видають промінь світла і забарвлюють його в різні кольори. Окрім функції зміни кольору світла є можливість його змішування. Чим більше кольорових барабанів усередині пристосування, тим більше унікальних кольорів воно може зробити.

Ці прилади використовуються в складних постановочних шоу-програмах, де вимагається оперативно міняти кольори на сцені, в оформленні дискотек, підсвічування сцен, барів, ресторанів, створення інтер'єрного освітлення. Вони ідеально підходять не лише для світлового дизайну, але і для зовнішнього освітлення.

Основні характеристики професійних колорченджерів :

- застосування дихроїчних фільтрів;
- синхронізація позиції фільтру з вихідною лінзою конденсора;
- фокусування променя;
- строб-ефект (за допомогою заслінок);
- управління через DMX512 протокол;
- високий коефіцієнт корисної дії.

Кріплення колорченджерів здійснюється на стелю і стіни.

«Голови, що обертаються» / Moving Yoke (Moving Head) / – це сканери з корпусом, що рухається, що самостійно утворили цілу групу світлового устаткування. Вони займають верхній ступінь в ієрархічних сходах світлових приладів і входять в інтелектуальний клас устаткування або по-іншому – «intelligent lights». Це означає, що «голови, що обертаються» управляються через окремий сигнальний кабель, підключений до пульта управління.

Головна відмінність між «головами, що обертаються» і сканерами полягає в тому, що у Moving head рухається уся голова, а у сканерів – дзеркала усередині приладу. Тим самим для публіки «голови, що обертаються», виглядають значно ефектніше.

Кут нахилу Moving head, 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.

Управління «головою, що обертається», здійснюється за допомогою пульта управління світлом через DMX512 кабель по різних DMX каналах (для різних параметрів – колір, гобо, діафрагма, кут нахилу і повороту, швидкість руху і т. д.).

Дорожчі Moving head включають гобо, що обертаються, призми і набір різних колірних барабанів. Ці функції дають повний контроль над усіма параметрами і дозволяють створювати складні ефекти. При цьому важливо, щоб послідовність усіх ефектів могла бути запрограмована в контролері, оскільки, в порівнянні з описуваними до цього приладами, управління «головами, що обертаються» – досить складна для недосвідченого користувача справа.

Місце розташування «голови, що обертається» – центр приміщення, це дозволяє максимально повно використати її можливості. Окрім кріплення до стелі, прилади можна розташовувати і на підлозі. Для цієї мети існують спеціальні стійкі моделі, представлені в лінійці приладів провідних виробників. Варто звернути увагу, що у відключеному стані «голова» може вільно обертатися навколо основи. Важливо мати це на увазі при транспортуванні і установці.

Нарешті, серед інших відомих ефектів виділяють наступні:

Стробоскопи / Strobe lights – прилади, що виробляють швидко яскраві світлові імпульси, що повторюються.

Лазери / Laser lights (від англ. laser скорочено від Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation – «посилення світла за допомогою вимушеного випромінювання») – оптичний пристрій, що перетворює електричну енергію в енергію когерентного, монохроматичного і поляризованого потоку випромінювання.

Існує три основні типи «розважальних» лазерних установок:

– дискотечні лазерні установки – лазерні установки, випромінюючі прямі промені, які видимі або в диму, або в тумані;

– графічні (що малюють) лазерні установки – лазери, що проектують промені, на яку-небудь поверхню і що створюють таким чином об'ємне зображення. Ці типи лазерів діляться ще на два типи: першим потрібне підключення ПК і відповідне програмне забезпечення, другим досить карти пам'яті із заздалегідь створеним проектом.

– комбіновані лазери – лазери, що об'єднують в собі функції дискотечного лазера з можливостями графічних лазерів, при використанні відповідного програмного забезпечення. Дозволяють з однієї установки проектувати промені і картинку на екран.

«Чорне світло» (чи ультрафіолетове світло) / **Black lights (Ultraviolet light)** – під дією цих приладів біле світиться в темряві.

Ближній ультрафіолетовий діапазон часто називають «чорним світлом», оскільки він не розпізнається людським оком, але при відображенні (проходженні) від деяких матеріалів спектр переходить в область фіолетового видимого випромінювання.

«Колірні смуги» / Color bars – прилади, що представляють з себе смуги завдовжки близько 3 дюймів з блоками з червоних, зелених і синіх світлодіодів усередині. Зокрема, ці прилади, кольори яких як вогні злітно-посадочної смуги аеропорту, можуть бути використані для освітлення проходів або інших архітектурних деталей.

Пристрої для точкового світла (Pinspot)

Точкове світло використовується для освітлення конкретної людини або області у вузькому промені, без зачіпання навколишнього простору.

Прилади світла, що стежать – найвідоміший приклад освітлення з «жорсткими» краями. Вони застосовуються для виділення світлом області майданчика і для стеження за об'єктом, що рухається. Критерій вибору – величина освітленості на заданій відстані від об'єкту. Підрозділяються на:

- прилади з примусовою вентиляцією;
- безшумні прилади, з природним конвективним охолодженням.

Для того, щоб виділити світлом виконавця на сцені, прилади проектують дуже вузький промінь, який оператор легко може переміщати, йдучи за артистом.

Прожектори PAR іноді можуть служити для створення точкового світла, якщо вони оснащені відповідними лампами.

PAR (Parabolic aluminized reflector, параболічний алюмінієвий рефлектор або «парблайзер») – прожектор, що не має лінз, в алюмінієвому корпусі з нерегульованим кутом світлового потоку. Джерело світла конструктивно нагадує автомобільну фару і поєднує в одному корпусі галогенову лампу, відбивач і скляний розсіювач). Основними достоїнствами приладу є незначна вага, простота використання і низька вартість, як наслідок, можливість застосовувати великі масиви прожекторів для освітлення різних сцен і створення різноманітних світлових композицій.

Ці прилади є ключовими для освітлення сцени і зазвичай використовуються у великих кількостях, щоб точно виділити виконавців і області освітлення у будь-який момент часу, при цьому вони не даватимуть одиничний промінь з жорстко обкресленими краями.

Розрізняють чотири типи PAR прожекторів – з дуже вузьким (VNSP), вузьким (NSP), середнім (MFL) і широким кутом (WFL) розкриття променя. Основне завдання прожекторів з вузьким (spot) розкриттям променя – динамічні ефекти (наприклад, вузькі промені, що проявляються в штучному тумані).

Розрізняються PAR прожектори діаметром (PAR 16, PAR 30(3,75»), PAR 36(4,5»), PAR 46(5,75»), PAR 56(7»), PAR 64(8») і потужністю вживаних в них ламп(100, 200, 250, 300, 500, 1000 Вт).

Прожектори з проекційною оптикою дозволяють проектувати зображення через трафарети, фотопластини або набори заслінок – лез. Подібні світлові прилади, які використовують гобо, також відносяться до облаштувань точкового світла, оскільки вони можуть бути використані для освітлення певної області або проекції конкретного шаблону у визначеному місці на стінах, сцені, стелі або підлозі. Наявність можливості зміни діаметру променя без зміни освітленості. Критерії вибору – рівномірність освітленості в плямі і чистота краю плями.

Прилади для «залівки» і розсіяного світла (Wash lights /Soft Edge Lighting)

Ці пристрої використовуються для створення загального фонового розсіяного освітлення, так званого «ambient lighting». Правильно встановлене і запрограмоване м'яке світло дозволить «залити» білі стіни іншим кольором.

Ці пристрої можуть працювати як статичні, лінійні або такі, що рухаються.

Крім того, лампи для розсіяного світла можуть бути використані в прожекторах PAR з широким (flood) розкриттям променя. Таким чином здійснюється заливка світлом сценічного простору або забарвлення темної сцени в різні кольори.

Усі світлові прилади, незалежно від категорії, згруповані на світильники **DMX і не DMX**.

Не DMX світильники, як правило, реагують на звук через вбудований мікрофон. В багатьох з приладів також є автоматичні налаштування для роботи без звуку або при недостатній його гучності. Світлові прилади цієї категорії часто виготовляються для роботи в течії певного періоду часу, перш ніж вони відключаються (т.з. робочий цикл), що призводить до необхідності використання декількох приладів для створення безперервного шоу.

Приклади не DMX світильників : Beam effects (промінь-ефекти), Flower effects (квіткові ефекти), GOBO (гобо) проектори.

DMX освітлювальні прилади відносяться до інтелектуального класу устаткування або по іншому – «intelligent lights». Ці прилади можуть управлятися за допомогою DMX512 консолей або інтерфейсів.

Контролер DMX дозволяє програмно управляти пристроєм видалено, 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 пропонують більше можливостей для світлових ефектів.

Приклади DMX світильників: «голови, що обертаються» і сканери.

СПИСОК РЕКОМЕНДОВАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Дадиомов М. С. Управление осветительными сетями / М. С. Дадиомов. – М. : Энергия, 1973. – 88 с.
2. Райцельский Л. А. Справочник по осветительным сетям / Л. А. Райцельский. – М. : Энергия, 1977. – 288 с.
3. Шуберт Ф. Е. Светодиоды / Ф. Е. Шуберт. – М. : ФИЗМАТЛИТ, 2008. – 488 с.
4. Гололобов В. Н. «Умный дом» своими руками / В. Н. Гололобов. – М. : 2006. – 414 с.
5. Давиденко Ю. Н. Современная схемотехника в освещении. Эффективное электропитание люминесцентных, галогенных ламп, светодиодов, элементов Умного дома / Ю. Н. Давиденко. – С-Пб. : Наука и Техника, 2008. – 309 с.
6. Волосов Д. С. Теория и расчет светоптических систем проекционных приборов : учеб. пособ. для института киноинженеров / Д. С. Волосов, М. В. Цивкин. – М. : Искусство, 1960. – 526 с.
7. Говоров П. П. Теорія автоматичного керування: конспект лекцій з курсу / П. П. Говоров та ін. – Харків : ХНУМГ, 2012. – 221 с.
8. Ву Т. З. Анализ систем автоматизированного управления умным домом / Т. З. Ву // Молодой ученый : науч. журнал. – Херсон : Изд. дом «Гельветика», 2011. – № 4. – Т. 1. – С. 28–31.
9. Справочная книга по светотехнике / под ред. Ю. Б. Айзенберга. – [3-е изд., перераб. и доп.]. – М. : Знак, 2006. – 972 с.
10. Правила улаштування електроустановок : ПУЕ. Розділ 6. Електричне освітлення : Міненерговугілля України : [Затв. 22.08.14]. – Київ : Міненерговугілля України, 2014.
11. Природне і штучне освітлення : ДБН В.2.5 – 28 – 2006 : Держбуд України : [Затв. 15.05.06: чинний з 1.10.2006.] – Київ. : Держ. комітет України з будівництва та архітектури, 2006. – 76 с.
12. Справочник «Светодиодное освещение». Принципы работы, преимущества и области применения. [Електронний ресурс]. Джонатан Вейнерт. Компания Philips. – Режим доступа : www.lighting.philips.com.
13. Говоров П. П. Освітлювальні електричні системи та мережі / П. П. Говоров, В. О. Перепечений, В. П. Говоров // ХНАМГ. – Харків : 2009. – 227 с.
14. Власов К. П. Теория автоматического управления / К. П. Власов – Харьков : Изд-во Гуманитарный центр, 2007. – 526 с.
15. Попович М. Г. Теорія автоматичного керування: підручник / М. Г. Попович, О. В. Ковальчук – [2-ге вид., перероб. і доп.]. – Київ. : Либідь, 2007. – 656 с.
16. Папушин Ю. Л. Основы автоматизації гірничого виробництва / Ю. Л. Папушин, В. С. Білецький – Донецьк : Східний видавничий дім, 2007. – 168 с.
17. Иванов А. О. Теорія автоматичного керування : підручник / – Дніпропетровськ : Національний гірничий університет, 2003. – 250 с.

18. Минимизация среднеквадратических ошибок и квадратичных интегральных оценок следящих систем с помощью разомкнутых и дифференциальных связей / Г. Ф. Зайцев, В. Г. Кривуца, В. Л. Булгач, Г. Д. Радзивилов. – Київ : ГУИКТ, 2006. – 185 с.
19. Повышение показателей качества корреляционных систем / Г. Ф. Зайцев, В. Л. Булгач, Н. В. Градобоева, А. В. Сайко // Матеріали VIII наук. конф. «Сучасні тенденції розвитку технологій в комунікаціях та освіті» (Київ, 24-25 листопада 2011 р.). – Киев. : ДУИКТ, 2011. – С. 226 – 231.
20. Зайцев Г. Ф. Минимизация среднеквадратических ошибок в следящих системах / Г. Ф. Зайцев, Г. Д. Радзівілов // Проблемы управления и информатики. – 2004. – № 6. – С. 62 – 72.
21. Гудвин Г. К. Проектирование систем управления / Г. К. Гудвин, С. Ф. Гребе, М. Э. Сальгадо. – М. : БИНОМ. Лаборатория знаний, 2004. – 911 с.
22. Денисенко В. В. Компьютерное управление технологическим процессом, экспериментом, оборудованием / В. В. Денисенко. – М. : Горячая линия-Телеком, 2009. – 608 с.
23. Ротач В. Я. Теория автоматического управления : учебник / В. Я. Ротач – [5-е изд., перераб. и доп.]. – М. : Издательский дом МЭИ, 2008. – 396 с.
24. PID Controller Tuning in Simulink [Electronic resource] / MathWorks – MATLAB and Simulink for Technical Computing. – Available at: <http://www.mathworks.com/help/slcontrol/gs/automated-tuning-of-simulink-pid-controller-block.html/> – 24.04.2015. – Title from the screen.

Навчальне видання

**ІОФФЕ Кристина Ігорівна,
ЧЕРКАШИНА Олена Леонідівна**

КОНСПЕКТ ЛЕКЦІЙ

з дисципліни

«СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ СВІЛОТЕХНІЧНИМИ ПРИСТРОЯМИ»

*(для магістрів денної і заочної форм навчання спеціальності
141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка
(спеціалізації «Світлотехніка і джерела світла»))*

Відповідальний за випуск *О. М. Ляшенко*

За авторською редакцією

Комп'ютерне верстання *К. А. Алексанян*

План 2016 , поз. 106 Л

Підп. до друку 25.01.2017

Друк на різнографі

Зам. №

Формат 60×84/16

Ум. друк. арк. 3,1

Тираж 50 пр.

Видавець і виготовлювач:

Харківський національний університет
міського господарства імені О. М. Бекетова,
вул. Маршала Бажанова, 17, Харків, 61002

Електронна адреса: rectorat@kname.edu.ua

Свідоцтво суб'єкта видавничої справи:

ДК № 5328 від 11.04.2017 р.