

Міністерство освіти і науки України
Тернопільський національний економічний університет
Факультет комп'ютерних інформаційних технологій
Кафедра комп'ютерної інженерії

Матіяш Василь Богданович

**Алгоритми та засіб дослідження світлодіодних джерел
світла / Algorithms and mean of LED light sources
research**

Спеціальність 8.091501 – Комп'ютерні системи та мережі

Дипломна робота за освітньо-кваліфікаційним рівнем «магістр»

Науковий керівник
к.т.н., доцент Трембач Р.Б.

Дипломну роботу допущено до захисту

«__» _____ 20__ р.

Зав. кафедри КІ

Березький О.М. _____

Тернопіль – 2017

ЗМІСТ

Вступ.....	8
1 Аналіз побудови засобів вимірювання світлотехнічних параметрів світлодіодів	12
1.1 Аналіз світлотехнічних параметрів світлодіодів	12
1.2 Засоби досліджень електричних та світлотехнічних параметрів світлодіодів	22
1.3 Постановка задачі та шляхи її вирішення.....	36
2 Апаратні засоби дослідження світлодіодних джерел світла	38
2.1 Пропонована методика дослідження світлодіодних джерел світла.....	38
2.2 Апаратні засоби, необхідні для реалізації першого етапу дослідження світлодіодних джерел світла	43
2.3 Апаратні засоби, необхідні для реалізації другого етапу дослідження світлодіодних джерел світла	53
3 Алгоритми роботи засобу дослідження світлодіодних джерел світла.....	58
3.1 Алгоритм дослідження світлодіода як давача температури.....	58
3.2 Узагальнений алгоритм дослідження світлодіодних джерел світла.....	62
3.3 Алгоритм регулювання температури	66
3.4 Алгоритм вимірювання світлових параметрів та температури.....	75
Висновки	78
Список використаних джерел	80
Додаток А Довідка про використання результатів дипломної роботи.....	85
Додаток Б Світлокопія виданих публікацій	86

ВСТУП

Актуальність теми. Проблема економ ресурсів стоїть на сьогодні доволі гостро на всій земній кулі, зокрема також в Україні. При цьому неможливо розраховувати на значний ріст виявлених ресурсів. Більшість корисних копалин на планеті Землі на сьогодні вже експлуатується, а ті корисні копалини, які не експлуатуються практично неможливо експлуатувати через кліматичні умови. Також, сучасний стан технології не дозволяє мати надію на значний прорив у цій галузі з точки зору економії ресурсів. Тому навіть невелика економія ресурсів є корисною.

Важливе значення для України має економія електричної енергії, як на загальнодержавному, так і на побутовому рівні. Відносно хороші перспективи щодо цього має використання найбільш економних джерел світла [1]. Зокрема, джерела світла на основі світлодіодів на сьогодні є дуже перспективними, їх перевагами є найвищий коефіцієнт корисної дії та дуже великий строк служби.

Але розробка нових, високоефективних світильників на основі світлодіодних джерел світла вимагає їх усестороннього дослідження [1]. Слід зазначити, що досягнута при цьому економія енергії за рахунок раціонального вибору світлодіодів та вдосконалення конструкції світильників, може дати, здавалось би, незначну економію – на рівні одиниць відсотка. Однак навіть така економія, зважаючи на масовість використання джерел світла, є суттєвою. Тому, для забезпечення оптимального конструювання джерел світла на базі світлодіодів необхідно користуватися математичними моделями, які забезпечують високу точність моделювання.

Однак побудова математичних моделей високої точності за результатами експериментальних досліджень світлодіодних джерел світла наштовхується на значні труднощі. Ці труднощі викликані наступними причинами:

– значною похибкою вимірювання світлових параметрів світлодіодних джерел світла [2]. Широко розповсюджені фотометри мають значні похибки. Не в

останню чергу це викликано тим, що еталонна база для світлових вимірювань має доволі низьку точність. Взірцеві засоби першого розряду мають похибку не менше 1%, таким чином фотометри змушені мати ще нижчу точність.

– При побудові традиційних математичних моделей не враховують або не достатньо точно враховують ряд впливаючих величин. Зокрема вплив температури на параметри світлодіодів враховують доволі рідко і тільки за температурою оточуючого середовища [1]. Світлодіоди є напівпровідниковими елементами, а температура сильно впливає на параметри всіх напівпровідників [3]. Тому при побудові математичної моделі, яка враховує температуру оточуючого середовища, залишаються неврахованими градієнти температури між кристалом напівпровідника (світлодіода) та його корпусу, між корпусом та радіатором охолодження світлодіода, між радіатором та оточуючим середовищем.

Одним з перспективних шляхів підвищення точності математичних моделей світлодіодів, а разом з тим, математичних моделей світлодіодних джерел світла є врахування перелічених вище градієнтів температури. Цього можна досягнути шляхом вимірювання температури кристала світлодіода, аналогічно, як це зроблено у [4] щодо фотодіодів. Але для вимірювання температури кристала світлодіода необхідно розробити відповідну методику експериментальних досліджень, а також необхідний для проведення цих експериментальних досліджень комплект апаратних засобів та алгоритмів оброблення даних, отриманих від цих апаратних засобів. Саме вирішенню цієї задачі присвячена дана магістерська дипломна робота.

Мета і задачі дослідження. Метою даної магістерської дипломної роботи є розроблення апаратних засобів та алгоритмів оброблення даних при експериментальному дослідженні світлодіодних джерел світла для підвищення точності математичних моделей, які будуються в результаті цих досліджень.

Для досягнення мети необхідно вирішити наступні задачі:

- провести аналіз сучасних світлодіодних джерел світла;
- провести аналіз сучасних засобів дослідження джерел світла;

- обґрунтувати підхід до світлодіодів як до багатопараметричних об'єктів вимірювання;
- розробити методику проведення експериментальних досліджень світлодіодних джерел світла, яка забезпечує високу точність побудови їх математичних моделей;
- розробити комплекс апаратних засобів для проведення експериментальних досліджень світлодіодних джерел світла;
- розробити програмне забезпечення для оброблення, при виконанні пункту 5, отриманих результатів вимірювання.

Об'єкт дослідження. Процес експериментального дослідження світлодіодних джерел світла для побудови їх математичних моделей.

Предмет дослідження. Засоби та алгоритми дослідження світлодіодних джерел світла з високою точністю.

Наукова новизна одержаних результатів. Вперше запропоновано та досліджено підхід до світлодіода, як до багатопараметричного об'єкта вимірювання при побудові математичних моделей джерел світла на його основі, що дасть можливість, за рахунок врахування температури кристала світлодіода, підвищити точність згаданих математичних моделей.

Практична цінність одержаних результатів:

- розроблено методику дослідження світлодіодних джерел світла при використанні підходу до світлодіода, як до багато параметричного об'єкту вимірювання;
- розроблені структурні схеми апаратних засобів, необхідні під час експериментальних досліджень світлодіодних джерел світла при використанні методики, розробленої у пункті 1.
- розроблено алгоритми оброблення результатів вимірювань отриманих при експериментальних дослідженнях світлодіодних джерел світла за допомогою апаратних засобів, розроблених у пункті 2.

Апробація результатів роботи. Результати магістерської дипломної роботи опубліковані у:

- IV науково-технічна конференція. Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя [52].
- Матеріали VI Всеукраїнської школи-семінару молодих вчених і студентів АСІТ'2016 [53].

Структура та об'єм магістерської дипломної роботи. Магістерська дипломна робота складається із вступу, трьох розділів та висновків викладених на 71 сторінках основного тексту, та списку використаних джерел (50 найменувань). Робота містить 33 рисунки, 2 таблиці та 2 додатки.

Впровадження результатів ДР. Результати магістерської дипломної роботи на тему “Алгоритми та засіб дослідження світлодіодних джерел світла” будуть використані науково-дослідним інститутом Інтелектуальних комп'ютерних систем в подальших наукових дослідженнях.

1 АНАЛІЗ ПОБУДОВИ ЗАСОБІВ ВИМІРЮВАННЯ СВІЛОТЕХНІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ СВІЛОДІОДІВ

1.1 Аналіз світлотехнічних параметрів світлодіодів

Вперше було відзначено незначне світіння, яке внаслідок невідомих тоді електронних перетворень, випромінювало карбідокремнієвими кристалами [5]. У 1923 році співробітник Нижегородської радіолабораторії Олег Лосєв відзначав це явище під час проведених ним радіотехнічних досліджень з напівпровідниковими детекторами, проте випромінювання, які він спостерігав були дуже незначними, що Російська наукова громадськість не сприйняла всерйоз дане явище і не проявляла до неї цікавості. Через п'ять років дослідженням даного ефекту спеціально зайнявся Лосєв та продовжував дослідження майже до кінця свого диття. Його відкриття, яке в Німеччині (де він і публікувався) назвали "Losev Licht", стало світовою сенсацією. Та після створення теорії р-n переходу і в 1948 році винаходу транзистора (що став в основі всіх напівпровідників) стала зрозуміла природа світіння.

Роботу першого світлодіода продемонстрував американець Нік Голоняк у 1962 році, та незабаром після цього він повідомив про початок напівпромислового випуску світлодіодів [6].

Світлодіод (з англійської LED – Light emission diode) є напівпровідниковим приладом, активна частина якого називається “чїп” або “кристал”, який складається, як і звичайний діод, з двох типів напівпровідника - з провідністю електронною (n-типу) і дірковою (p-типу) [3]. На кордоні напівпровідників різного типу в світло діоді, на відміну ж від звичайного діода, існує певний енергетичний бар'єр, який перешкоджає рекомбінації електронно-діркових переходах. Щоб подолати даний бар'єр, потрібно прикласти електричне поле до кристалу в результаті чого відбувається рекомбінація (анігіляція) переходу з випромінюванням кванта світла. Довжина хвилі світла, що випромінюється визначається величиною енергетичного бар'єру, який залежить, у свою чергу, від

структури та матеріалу напівпровідника, та присутніх домішок [7].

Отже, для початку потрібний р-n перехід, іншими словами кажучи, зв'язок між двома напівпровідників, що мають різні типи провідності. Для цього приконтатні шари напівпровідникового кристала за допомогою різних домішок легують, а саме, з однієї сторони акцепторними домішками, з іншої – донорськими домішками [7].

Проте, випромінює світло не кожний р-n перехід, томущо, по-перше, ширина забороненої зони в активній області світлодіода має бути близька до енергії квантів світла видимого діапазону; по-друге, повинна бути високою ймовірність випромінювання при рекомбінації електронно-діркових переходів, для чого напівпровідниковий кристал має містити мало дефектів, через які рекомбінація відбувається без випромінювання. Та дані умови в деякій мірі суперечать один одному [7].

Насправді, для того щоб дотриматися обидвох умов, в кристалі виявляється недостатньо одного даного р-n переходу, і доводиться виготовляти багат шарові напівпровідникові структури, які називають гетероструктурами, за вивчення даних структур Жорес Алфьоров – російський фізик академік, отримав Нобелівську премію в 2000 році [8].

Світлодіод – це напівпровідниковий пристрій, що перетворює електричний струм безпосередньо в світлове випромінювання. Так як світлодіод є напівпровідниковим, то при його під'єднанні необхідно дотримуватись полярності (рисунок 1.1).

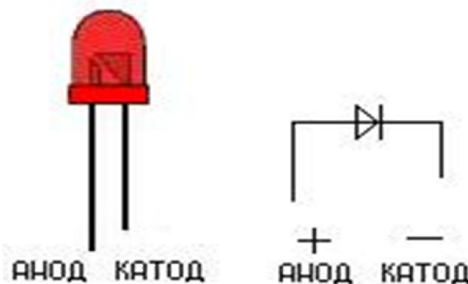


Рисунок 1.1 – Вигляд та графічне позначення світлодіода

Світлодіод складається з напівпровідникового кристала на підкладці, корпусу з контактами і оптичної системи. Будова, схематичне позначення та графічна інтерпретація роботи простого світлодіода зображені на рисунку 1.2.

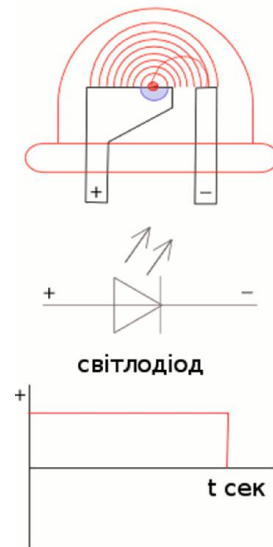


Рисунок 1.2 – Графічне та схематичне позначення та графік роботи простого світлодіода

Багато хто вважає, що всі світлодіоди є однаково довговічними, але це не так – все залежить від струму, що пропускається через світло діод, чим він більший, тим вища стає температура і тим швидше настає старіння (деградація) кристала [7]. Довговічність світлодіода залежить від того скільки тепла з підкладки буде поступати на радіатор, чим більше – тим довше він буде працювати. Тому світлодіодні пристрої з потужними світлодіодами вимагають або пасивного (монтаж на алюмінієву плату і радіатор) або ж активного (кулер, вентилятор) охолодження. Якщо охолодження достатньо, то на світлодіод можна подати максимальний рекомендований виробником струм чим продовживши його довговічність. Тому в будь якому випадку, термін служби у потужних світлодіодів коротший, ніж у малопотужних світлодіодів. Старіння в них першочергово виражається в зменшенні яскравості.

У світлодіодах потужністю від 1Вт з робочим струмом 0,35А та більш потужних світлодіодах, тепловиділення значно сильніше, ніж у світлодіодах типу

“5мм”, які розраховані на струм 0,02 А. При порівнянні по світловіддачі, світлодіод потужністю 1Вт замінює близько 50 світлодіодів типу “5мм”, проте, гріється у багато разів сильніше.

Для того, щоб зрозуміти принцип роботи світлодіодів, необхідно знати такі характеристики світлодіодів [1, 7, 9]:

- світловий потік – даний параметр вимірюється в люменах (Лм) і показує кількість світла, яке видає світлодіод чи лампа, чим більший даний показник, тим яскравіше буде світити поточний елемент [2];

- потужність споживання – дана величина вимірюється у Вт, чим менший даний параметр, тим відбувається менша витрата електроенергії;

- світловіддача – її одиницею виміру вважається Лм/Вт, вона є головним параметром в роботі та ефективності світлодіода [1, 9];

- діаграма напрямку випромінювання – параметр кривої сили світла, завдяки якому розподіляються потоки, що випромінюються діодами [1];

- колірна температура (відтінки білого світла) – вимірюється в градусах Кельвіна в діапазоні, що допустимий, від 2700 до 7000 К, найсприятливішим для очей відтінок “теплого білого” кольору вважається той, який коливається біля 4000 К, а всі показники, що вище, прийнято позначати, як “холодний білий” – найчастіше світильники з “теплим світлом” коштують набагато дорожче, ніж з “холодним світлом”, так як це напряму пов’язано з особливостями при їх виробництві [1];

- індекс передачі кольору – дана величина показує, наскільки природньо буде відображений колір предмета, який освітлюється поточним світло діодом, чим цей параметр вищий, тим правдивіше передається відтінок освітлювального предмета [1,9];

- продуктивність приладів освітлення – найбільш правильним рішенням є вибір брендових заводів-виготовлювачів, оскільки такі компанії можуть надати більш точні технічні характеристики світлодіодів, завдяки чому прилад прослужить заявлений час роботи [1, 9].

В цілому технологія виглядає таким чином [10], в так званий "реактор"

(установку епітаксійного росту) встановлюють пластини зі штучного сапфіра, потім подають газову суміш. Підстава з розміщеними на ньому пластинами обертається в реакторі зі швидкістю від 1000 об. / Хв. У процесі обертання атоми газу "прилипають" до поверхні кристалічної підкладки, утворюючи десятки шарів. Виходить кристал світлодіода товщиною в сотні мікрон.

Далі йде планарна обробка плівок: їх травлення, створення контактів, покриття металевими плівками для контактних висновків. Потім пластини, поділяють на окремі кристали. Плівку, вирощену на одній підкладці, можна розрізати на кілька тисяч чіпів розмірами від 0,24x0,24 до 1x1 мм. Чим більша площа кристала, тим більше світла він здатний випромінювати при проходженні через нього струму.

Технологія "металоорганічна епітаксія" [11] – для цього процесу необхідні особливо чисті гази. У сучасних реакторах передбачені автоматизація та контроль складу газів, їх роздільні потоки, точне регулювання температури газів і підкладок. Товщини вирощуваних верств вимірюються і контролюються в межах від десятків ангстрем до декількох мікрон. Різні шари необхідно легувати домішками, донорами або акцепторами, щоб створити р-п перехід з великою концентрацією електронів в n-області і дірок в р-області.

Наступним кроком є створення світлодіодів з цих чіпів. Необхідно змонтувати кристал в корпусі, зробити контактні висновки, виготовити оптичні покриття, просвітлюючі поверхню для виведення випромінювання або відбивання його. Якщо це білий світлодіод, то потрібно рівномірно нанести люмінофор. Потрібно забезпечити охолодження (тепловідвід) від кристала і корпусу, зробити пластиковий купол, що фокусує випромінювання в потрібний тілесний кут. Близько половини вартості світлодіода визначається даними етапами [10].

Дуже важливо забезпечити і проконтролювати однорідність структур на поверхні підкладок. Вартість установок для епітаксійного росту напівпровідникових нітридів, розроблених в Європі (фірми Aixtron і Thomas Swan) і США (Emcore), досягає 1,5 - 2 млн доларів [12]. Досвід різних фірм показав, що навчитися отримувати на такій установці конкурентоспроможні

структури з необхідними параметрами можна за час від одного року до трьох років. Це - технологія, що вимагає довготривалої практики.

Необхідність підвищення потужності для збільшення світлового потоку призвела до того, що традиційна форма корпусного світлодіода перестала задовольняти виробників через недостатнє тепловідведення. Треба було максимально наблизити чіп до теплопровідної поверхні. У зв'язку з цим на зміну традиційній технології і кілька більш досконалії SMD-технології (surface montage details) приходить найбільш передова технологія COB (chip on board) [13].

Світлодіоди, що виконані за SMD і COB-технологіями, монтуються (кріпляться, приклеюються) безпосередньо на загальну підкладку, що може виконувати роль радіатора – в цьому випадку вона робиться з металу. Так створюються світлодіодні модулі, які можуть мати лінійну, прямокутну або круглу форму, бути жорсткими або гнучкими, коротше, покликані задовольнити будь-яку примху дизайнера. Для потужних світильників і прожекторів виготовляються світлодіодні збірки на масивному радіаторі.

Раніше в світлодіодних платах було дуже багато світлодіодів. Зараз, у міру збільшення потужності, світлодіодів стає менше, зате оптична система, напрямна світловий потік в потрібний тілесний кут, відіграє все більшу роль.

Принцип роботи світлодіода полягає в наступному [7]: світло виникає при рекомбінації електронів і дірок в області р-п переходу, тобто контакти двох напівпровідників з різними типами провідності. Для цього приконтактні шари напівпровідникового кристалу наповнюють різними домішками: одну сторону акцепторами, іншу - донорами.

Довжина світлової хвилі, яку ми сприймаємо як колір, залежить лише від структурних та хімічних особливостей напівпровідників [7]. Ніякі зміни характеристик струму живлення світлодіода (сила струму, частота, напруга) не можуть вплинути на довжину хвилі випромінюваного світла. Проте, ніщо не заважає розмістити у одному корпусі кілька кристалів з різним кольором світіння. Першими були створені двокольорові світлодіоди. Конструктори скористались тим, що світлодіод здатен проводити струм лише у

одному напрямі, розмістивши на одній основі два кристали, під'єднані до виводів живлення зустрічно. Графічне та схематичне позначення а також графік роботи двоколірного світлодіода зображені на рисунку 1.3.

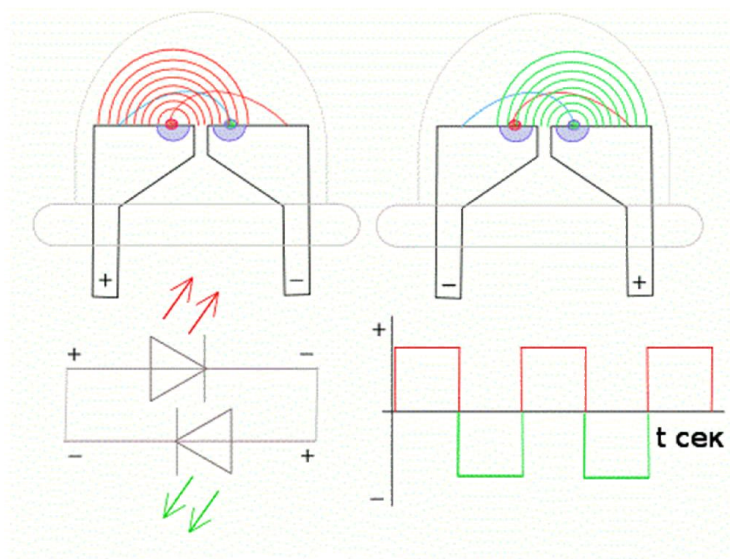


Рисунок 1.3 – Графічне та схематичне позначення а також графік роботи двоколірного світлодіода

Ширина неактивної зони в активній області світлодіода повинна бути близька до енергії квантів світла видимого діапазону. Ймовірність випромінювання при рекомбінації електронно-діркових пар повинна бути високою. Для цього напівпровідниковий кристал повинен містити мало дефектів, через які рекомбінація відбувається без випромінювання. Ці умови в тій чи іншій мірі суперечать один одному.

Зі зміною полярності живлення змінюється колір світіння з червоного на зелений. Здатність ока утримувати зорові образи, на якій побудована техніка кіно і телебачення, дозволила підбираючи співвідношення тривалостей імпульсів протилежної полярності змінювати пропорції червоного та зеленого отримуючи проміжні кольори як видно з діаграми кольорів (рисунок 1.4), це всі відтінки жовтого [7].

Найчастіше в побуті, для декорацій та освітлення використовуються білі світлодіоди, характеристики яких залежать від їх тону [7, 14]:

– тепле біле світло – його колірна температура становить 2700 К, і воно відрізняється невеликим жовтуватим відтінком, схожим на полум'я, яке випромінює свічка. Саме такий відтінок характерний для ламп розжарювання, він заспокоює і розслабляє.

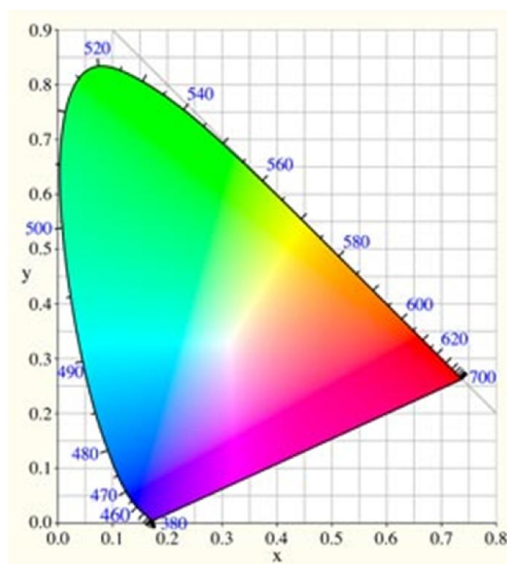


Рисунок 1.4 – Діаграма відтінків кольорів світлодіодів

Важливо відзначити, що використання матового або прозорого плафона буде змінювати відтінок на більш м'який або насичений. Цей вид світла не основний, але він чудово підійде для додаткового і декоративного освітлення, буде ідеальним для установки в спальнях.

– Натуральне біле світло – його колірна температура становить 4200 К, воно є самим популярним і найчастіше використовуваним. Підходить для застосування в якості основного джерела освітлення приміщень як комерційного характеру, так і побутового. Можна використовувати для всіх типів поверхонь, таких як кухонна стільниця або робочий стіл в кабінеті. Як і тепле світло, натуральне має кілька відтінків. Світильники і лампи з матовим розсіюванням будуть мати зовсім інший спектр насиченості, ніж прилади з прозорою колбою. Воно сприяє отриманню більш точного і спрямованого світла, ніж матовий, через який випромінюються м'які відблиски ненав'язливого відтінку.

– Холодне біле світло – його колірна температура становить 6000 К.

Має своєрідний блакитнуватий відтінок. Цей тон є дуже яскравим і найчастіше використовується для офісів, а також як локальне освітлення. Досить широке поширення отримав на паркувальних майданчиках, в під'їздах, на прибудинковій території, а також у парках, алеях і скверах. Часто встановлюється для підсвічування вуличних реклам, комерційних вивісок та іншого.

Сучасні світлодіоди не подібні на перші корпусні світлодіоди, що застосовувалися для індикації. Конструкція потужного світлодіода серії Luxeon, що випускається компанією Lumileds, схематично зображена на рисунку 1.5 [15].

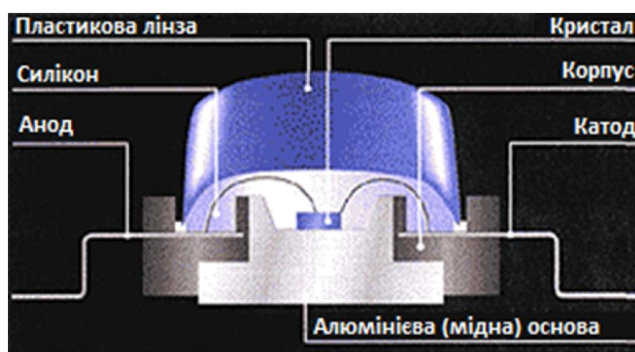


Рисунок 1.5 – Конструкція потужного світлодіода серії Luxeon

Світлодіод хороший тим, що в ньому, на відміну від лампи розжарювання або люмінесцентної лампи, електричний струм перетворюється безпосередньо в світлове випромінювання, і теоретично це можна зробити майже без втрат [7].

Світлодіод при належному тепловідводі мало нагрівається, що робить його незамінним для багатьох завдань. Також світлодіод випромінює світло у вузькій частині спектра, його колір чистий, що особливо цінують дизайнери, а УФ та ІЧ випромінювання, як правило, відсутні. Світлодіод механічно міцний і винятково надійний, його термін служби може досягати 100 000 годин, що майже в 100 разів більший, ніж у лампочки розжарювання, і в 5 - 10 разів більше, ніж у люмінесцентної лампи.

Світлодіод - низьковольтний електричний пристрій, а отже, безпечний. Недоліком світлодіода є його ціна. Поки що ціна одного люмена, випроміненого світлодіодом, в 100 разів вища, ніж галогенною лампою. Але фахівці стверджують, що в найближчі 2 - 3 роки цей показник буде знижений в 10 разів.

На рисунку 1.6 показано будова 5мм світлодіода, випромінюючого біле світло.

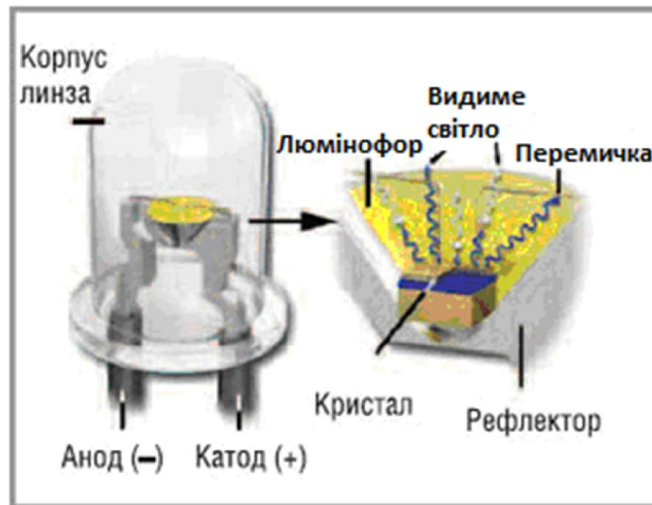


Рисунок 1.6 – Будова 5мм світлодіода

Спочатку світлодіоди застосовувалися виключно для індикації. Щоб зробити їх придатними для освітлення, необхідно було перш за все навчитися виготовляти білі світлодіоди, а також збільшити їх яскравість, а точніше світловіддачу, тобто відношення світлового потоку до споживаної енергії.

Світлодіодне освітлення доцільно застосовувати в тих випадках, де потрібна висока надійність, де потрібно застосовувати світлодинамічні рішення, де потрібна енергоефективні рішення, наприклад, при живленні від різноманітних генераторів [7, 15].

З іншої сторони, світлодіодні світильники ідеально підійдуть для неяскравого, але ефектного підсвічування. Цей конкретний приклад за ступенем споживання електроенергії на 90% економічніше найменших 15Вт галогенових лампочок.

Щороку світловіддача і ефективність світлодіодів збільшується на 30-50%. Станом на 2008 рік світлодіодні світильники вже частіше ламп застосовуються в архітектурному, декоративному, ландшафтному, підводному освітленні, святкової ілюмінації, шоу-бізнесі, а також у спеціальних додатках - медицині та рослинництві.

В майбутньому швидше за все світлодіоди витіснять лампи в черговому висвітленні місць громадського користування - під'їздах житлових будинків, світлових покажчиках і т.д. А також на транспорті - в літаках, поїздах, автомобілях. А в міру розвитку технології і здешевлення виробництва, справа вже доходить до нічного освітлення автомобільних доріг і вулиць. Все це дасть суттєву економію енергоресурсів в національних масштабах.

1.2 Засоби досліджень електричних та світлотехнічних параметрів світлодіодів

Гоніофотометричні вимірювання [16] широко використовуються у фотометричних лабораторіях країн з розвинутою світлотехнічною промисловістю. Це зумовлено можливістю отримати за короткий інтервал часу великий обсяг інформації про світлотехнічні величини і характеристики джерел світла (ДС), світлових приладів (СП), матеріалів. Отримана інформація використовується для розробки, удосконалення, сертифікації продукції світлотехнічних підприємств.

Сучасні закордонні гоніофотометричні системи характеризуються високими метрологічними характеристиками [16]. Похибка вимірювання світлових величин складає 2.0 % , кутова роздільна здатність не перевищує $\pm 0.1^\circ$. Для цього використовують вимірювальні перетворювачі спеціальної конструкції. Додаткове покращення метрологічних характеристик забезпечує комп'ютер завдяки врахуванню нелінійностей, контролю і коректуванню режиму роботи вузлів системи, математичній обробці результатів вимірювання.

На сьогодні країни з розвинутою світлотехнічною промисловістю і провідні світлотехнічні фірми мають щонайменше по одній сучасній фотометричній системі високого класу точності.

За конструктивним виконанням гоніофотометри можна поділити на чотири

групи [16, 17]:

– гоніофотометр, в якому ДС чи СП обертаються навколо двох осей (рисунок 2.4, а). При цьому фотометрична головка знаходиться в нерухомому стані. Гоніофотометр даного типу рекомендується використовувати лише тоді, коли світлотехнічні характеристики ДС не залежать від зміни його положення. Вимірювання параметрів великогабаритних СП є ускладнені. Найвідоміші фотометри цієї групи розміщені в світлотехнічній лабораторії Копенгагена та у фірмі LMT (Берлін) [17].

– Гоніофотометр, в якому здійснюється обертання ДС або СП навколо вертикальної осі і переміщення фотометричної головки навколо ДС чи СП (див. рисунок 2.4, б). При цьому горизонтальна вісь проходить через ДС. Для усунення обертання фотометричної головки навколо ДС або СП можна використати декілька фотометричних головок, розміщених у вертикальній площині. До переваг гоніофотометрів даного типу відноситься фотометрування ДС і СП в робочому положенні, внаслідок чого забезпечується найменша похибка вимірювання світлотехнічних параметрів. До недоліків таких гоніофотометрів слід віднести значні габарити, громіздкість конструкції, що стримує їх широке поширення. Гоніофотометрами даної групи обладнані фірми Шредер (Бельгія) [18] і РТВ (Німеччина) [19], національні лабораторії Франції і Аргентини.

– Дзеркальний гоніофотометр [20], який забезпечує обертання ДС чи СП навколо вертикальної осі, а дзеркала – навколо горизонтальної (див. рисунок 2.5, а). При чому цьому фотометрична головка нерухома. Важливою перевагою гоніофотометрів даного типу є компактність, не зважаючи на фотометрування ДС і СП в робочому положенні. Крім цього, для їх розміщення не вимагаються приміщення великих габаритів. В даному випадку необхідна лише наявність фотометричного коридора. До недоліків цих гоніофотометрів належить передусім необхідність використання унікальних дзеркал діаметром 1,5...2,5 м. Останні повинні забезпечувати рівномірний спектральний коефіцієнт відбиття, постійний ступінь дифузного відбиття, незначну поляризацію, стабільність характеристик в часі. Точність вимірювань в значній мірі залежить

від якості дзеркала. Дзеркальні фотометри також досить дорогі, але в той же час найсучасніші. Їх придбали лише найбільші світлотехнічні фірми, такі, приміром, як Філіпс, PRC Krochmann [20], Vega, Regiolus (США).

– Розгортковий гоніофотометр [21] або інакше короткобазовий фотометр (див. рисунок 2.5, б). Зацікавленість до них викликана можливістю отримати фотометричні величини і характеристики СП у приміщеннях з обмеженими габаритами. Принцип їх роботи базується на телецентричному способі вимірювання сили світла. Оптична розгортка в таких фотометрах реалізується або у вигляді пустотілих трубочок, дотичних одна до одної, або у вигляді набору пластин–екранів із співвісно розміщеними отворами. Короткобазові фотометри доцільно використовувати для фотометрування СП з сконцентрованими пучками (прожектори, лампи–фари тощо). Однак при цьому слід врахувати, що похибка вимірювання складає $\pm 15...20\%$. Короткобазовий фотометр побудований фірмою "VULCAN GmbH" (Німеччина) [21]. Він знаходиться в національній лабораторії Данії, а також в СКТБ світлових і світлосигнальних приладів (Москва) для фотометрування аеродромних вогнів.

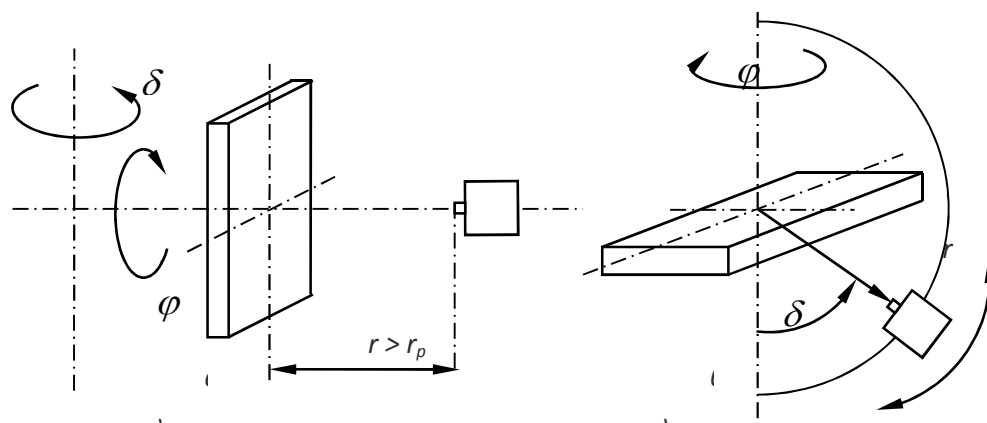


Рисунок 1.7 – Гоніофотометри з обертанням навколо двох осей та горизонтальної осі відповідно

На даний момент існує не мала кількість реалізованих засобів (гоніофотометрів) для дослідження електричних та світлових параметрів світлодіодів. Розглянемо деякі з них.

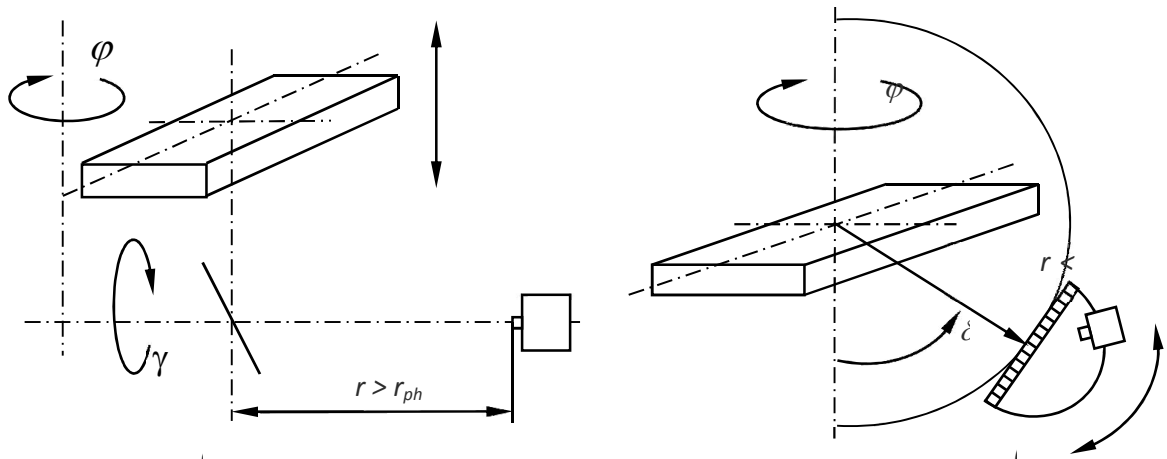


Рисунок 1.8 – Дзеркальний та розгортковий гоніофотометри

Демонстраційно – лабораторний гоніофотометр показано на рисунку 1.7 [22].

Даний лабораторний комплекс призначений для того, щоб вимірювати основні оптичні величини випромінювання електричних джерел світла.

На поворотній основі встановлений майданчик з кріпленням для досліджуваного джерела світла.

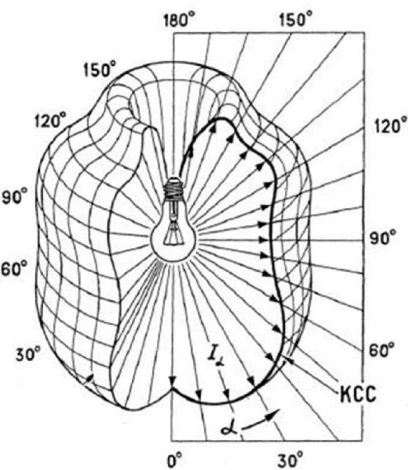


Рисунок 1.7 – Демонстраційно – лабораторний гоніофотометр

Привід основи, що обертається працює від електричного двигуна. Весь рухомий механізм гоніофотометра розміщений всередині корпусу, який є непрозорим та недоступний для видимого випромінювання. Всередині, у верхній

частині знаходиться фотометричний датчик. Крім того є два лазера для юстування. Монітор контролю і управління знаходиться зовні гоніофотометра. Управління дозволяє задавати кут повороту гоніометра, знімати показання спектроколориметра і виробляти подальшу математичну обробку та збереження інформації.

Принцип роботи. Спочатку відкривається кришка на лицьовій стороні вимірювального блоку гоніофотометра. У відкритій порожнині розташований гоніометр. Досліджуваний джерело світла поміщається на спеціальний майданчик рухомого механізму гоніофотометра. Потім проводиться юстирування. Після цього кришку гоніофотометра щільно закривається. Всі умови проведення вимірювань оператором вводяться в електронно-обчислювальну машину. Від неї керуючі сигнали подаються на всі потрібні приводи і вимірювальний блок. Від вимірювального блоку, основним приладом якого є цифровий спектроколориметр, інформація про поточні значення основних оптичних величин випромінювання електричного джерела світла надходить на головний монітор у вигляді символів і малюнків. Живлення вимірювального комплексу здійснюється від відповідного щита стандартної мережі енергопостачання.

Переваги. Гоніофотометри використовуються для вирішення великої кількості завдань в оптичній метрології електричних джерел світла [16]. Для досягнення високої точності вимірювань вони повинні відповідати певним вимогам. Облік розсіяного світла один з найважливіших аспектів для гоніофотометрів. Існує безліч шляхів зменшення розсіювання світла в системі гоніофотометра. Прийнятним способом можна вважати використання темного приміщення великих розмірів, проте розмір приміщення завжди обмежений практичними реаліями, тому потрібно оптимізація використання простору темної кімнати. Як відомо, для вимірювання сили світла із застосуванням фотометричного закону “зворотніх квадратів” [23] відстань фотометрування має бути велика. Однак, дистанція при вимірюваннях в дальній зоні (часто більше 10 м) не підходить для фотометрування слабких джерел світла через обмежену чутливості фотоприймача.

Використання високоточних, проте громіздких і вельми дорогих гоніофотометрів виправдано в наукових лабораторіях науково-дослідних інститутів. У навчальних закладах проведення поточних навчальних занять зі студентами не вимагає використання прецизійної техніки і приладів.

З урахуванням всіх цих особливостей гоніофотометр був розміщений всередині корпусу, непрозорого для видимого випромінювання, а блок управління – зовні [24].

Відмінними рисами цього гоніофотометра в порівнянні з існуючими аналогами є компактність і відносно невелика вартість.

Вимірювальний блок і блок управління виконані в єдиному стилі. Розробка велася численним кваліфікованим персоналом. За бажанням замовника кількість контрольованих технічних параметрів можна змінити. Продуктивність і швидкість обробки інформації залежить від технічних можливостей цифрового спектроколориметра і електронної обчислювальної машини, які також, при необхідності, можна замінити на більш актуальні [1].

Демонстраційний гоніофотометр зображений на рисунку 1.8.



Рисунок 1.8 – Універсальний гоніофотометр

Гоніофотометри використовуються для вирішення великої кількості завдань в оптичній метрології світлодіодних джерел світла. Для досягнення високого ступеня точності вони повинні відповідати певним вимогам. Перш за все, повинна бути забезпечена стабільність вимірюваного джерела світла. Моделі з обертовими джерелами світла не можуть забезпечити високу точність, оскільки положення працюючого джерела світла змінюється під час проведення вимірювання, через що змінюються умови відводу тепла. А оскільки світлодіоди чутливі до температури, гоніофотометри з дзеркалом на оптичних осях також не можна вважати слушними, оскільки постійне переміщення контрольного джерела освітлення в значній території веде до значної зміни температури, що змушує сповільнювати швидкість вимірювання, щоб уникнути зміни фотометричних параметрів.

Облік розсіяного світла – важливий аспект для гоніофотометрії. Існує безліч шляхів його зменшення в системі гоніофотометра. Хорошим способом можна вважати використання темної кімнати великих розмірів, проте розмір приміщення завжди обмежений практичними реаліями, тому потрібна оптимізація використання простору темної кімнати.

Для вимірювання сили світла (сили випромінювання) із застосуванням фотометричного закону “зворотних квадратів” відстань фотометрування має бути досить велика. Однак дистанція при вимірах в дальній зоні (часто більше 12 м) не завжди підходить для фотометрування слабких джерел світла через обмежену чутливості фотоприймача.

Для забезпечення відповідності вимогам високоточної гоніофотометрії різного призначення компанією EVERFINE розроблений універсальний гоніофотометр (Full-Field Goniophotometer) [25].

Базова конструкція (схематичне креслення) зображене на рисунку 1.9. Система оснащена детекторами дальньої і ближньої зони. Досліджуване джерело світла розташоване в центрі обертання гоніофотометра, він повертається тільки навколо вертикальної осі без зміни свого стану і залишається нерухомим під час самого фотометрування, що забезпечує високу стабільність джерела світла.

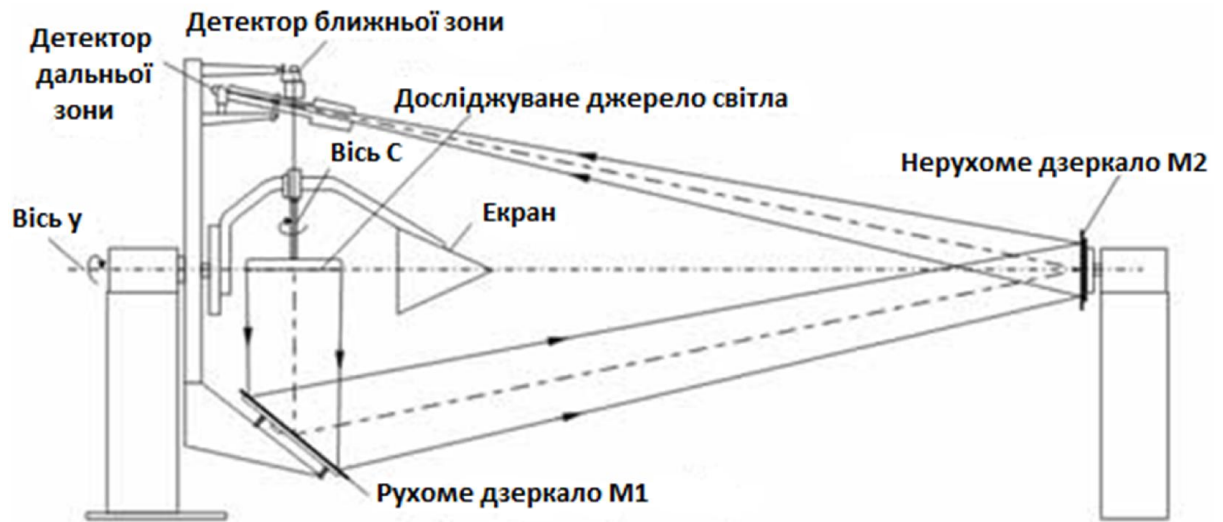


Рисунок 1.9 – Базова конструкція (схематичне креслення)

Вимірювання в ближній зоні [25]. Детектор ближньої зони вимірює випромінювання від джерела світла безпосередньо (без використання дзеркал). При роботі детектора ближньої зони дзеркала М1 і М2 закриті (рисунок 1.10). Відстань між центром обертання гоніофотометра до детектора ближньої зони знаходиться в межах 2-3 м, в залежності від розмірів гоніофотометра. Слід зазначити, що для деяких (малих) джерел зазначена дистанція відповідає дальній зоні. Детектор ближньої зони може являти собою фотометричну головку або поєднання фотометричної головки.

Вимірювання сили світла компактних або слабких джерел. Фотометрична головка детектора ближньої зони відмінно пристосована для вимірювання сили світла таких компактних джерел світла, як світлодіодні лампи, сигнальні лампи та ін. Вона володіє практично в 100 разів більш високою чутливістю, ніж фотоприйомники дальньої зони.

Вимірювання в дальній зоні [25]. В фотоприймач світло приходить, відбиваючись від двох дзеркал: рухомого М1 і нерухомого М2. Відстань фотометрування знаходиться в межах 15-30 м (в залежності від довжини темної кімнати). Детектор далекої зони може використовуватися в тому числі для вимірювань сили світла джерел великих розмірів з вузьким кутом діаграми

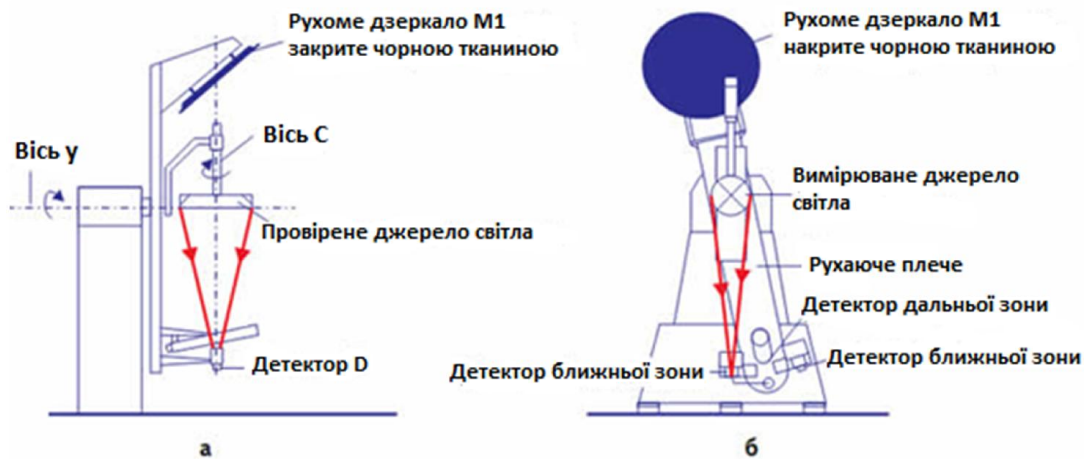


Рисунок 1.10 – Схематичне креслення: а) вид збоку; б) звичайний вид, вимірювання в ближній зоні

спрямованості. Детектор далекої зони може використовуватися в тому числі для вимірювань сили світла джерел великих розмірів з вузьким кутом діаграми спрямованості. Завдяки наявності двох дзеркал на розмірах темної кімнати можна заощадити, так як необхідна довжина кімнати становить приблизно половину відстані фотометрування.

Міні гоніофотометр HP880 (рисунок 1.11) [26]. Може бути використаний для вимірювання сили світла кривої розподілу, інтенсивності даних, кута поширення і еквівалента світлового потоку, весь процес випробування контролюється комп'ютером автоматично.



Рисунок 1.11 – Міні гоніофотометр HP880

Даний гоніофотометр характеризується низькою вартістю і простотою в експлуатації. Характеристики і специфікації:

- діапазон фотометрування: 0.1lx ~ 30 лк;
- діапазон інтенсивності освітлення: 0mcd ~ 300cd;
- точність інтенсивності освітлення: class1;
- кут діапазону: -90 ° ~ + 90 °;
- кут інтервалу: 1 °;
- кут розширення: ± 2;
- максимальний діаметр випробування рефлекторних ламп: 15 см;
- вимірювання кута поширення світла променя автоматично;
- автоматичне вимірювання кута пучка;
- використовується для тестування потоку кривої розподілу високої потужності світлодіодних ламп;
- еквівалент світлового потоку діапазону вимірювання: 1lm ~ 200lm:
 - 1) спектр фотометрії 0.1lx ~ 30 lx;
 - 2) діапазон сили світла 0mcd ~ 300cd;
 - 3) точність сили світла: Class1;
 - 4) кут діапазону: -90° ~ + 90°;
 - 5) кут інтервалу: 1°;
 - 6) кут розширення: ± 2;
 - 7) максимальний діаметр випробування відбивача лампи: 15 см;
 - 8) еквівалентний світловий потік діапазону вимірювання: 1lm ~ 200lm.

Гоніофотометр X-ATTE [27] призначений для вимірювання сили світла, просторового розподілу і колірних характеристик джерел світла: джерел випромінювання, світильників будь-якого призначення, світловипромінювальних діодів, багатоелементних світлосигнальних приладів на основі світловипромінюючих напівпровідникових діодів, а також будь-яких інших джерел світла.

Засіб “Гоніофотометр X-RITE” [28] призначений для застосування в комплексі лабораторного обладнання.

Принцип дії фотометричного каналу установки заснований на вимірюванні фотоструму фотометричної головки, коригувати до відносної спектральної світлової ефективності, що викликається випромінюванням досліджуваного джерела світла на певному відстані від джерела, і подальшому розрахунку сили світла.

Принцип дії установки при вимірюванні просторового розподілу заснований на вимірюванні фотоструму фотометричної головки, що викликається випромінюванням досліджуваного джерела світла, при кутовому переміщенні джерела щодо оптичної осі, і подальшому розрахунку сили світла в заданому напрямку.

Принцип дії колориметричного каналу установки базується на вимірюванні фотострумів чотирьох каналів колориметричної головки, коригується відносно функцій складання кольорів X , Y , Z , що викликаються випромінюванням досліджуваного джерела світла, і подальшому розрахунку колориметричних характеристик.

До складу установки входять наступні основні елементи:

- оптичний стенд довжиною 15 м;
- система кріплення об'єкта вимірювання з горизонтальним і вертикальним гоніофотометрами, які забезпечують обертання досліджуваного об'єкта навколо центру симетрії в горизонтальній і вертикальній площинах, а також поздовжнє горизонтальне і вертикальне переміщення світильника для його установки на нульову позначку оптичного стенду по променю юстировочного променя;
- термостабілізована фотометрична головка на основі кремнієвого фотодіода, можна коригувати до відносної світлової ефективності для денного зору. Значення відносної спектральної світлової ефективності монохромного випромінювання для денного зору, система реєстрації сигналів фотометричної головки з підсилювачем і системою збору даних.
- Колориметрична головка на основі кремнієвих фотодіодів, можна коригувати відносно функцій складання кольорів X , Y , Z , з блоком реєстрації і

розрахунку координат кольоровості;

- блок живлення об'єкта вимірювання типу snt10;
- комп'ютер зі спеціальним програмним забезпеченням LightCon, що здійснює управління режимами вимірювань, збір, висновок і збереження вимірювальної інформації (сигналів фотометричних головок, кутів повороту та ін.).

Засіб розташовується в спеціально обладнаному приміщенні, що забезпечує нульове зовнішнє засвічення і мінімальний вплив розсіяного світла.

Основні технічні і метрологічні характеристики:

- діапазон вимірювань сили світла, кд: від 1 200 000;
- робочий спектральний діапазон: від 380 до 780 нм;
- фотометрична база (відстань від осі джерела світла до фотометричної головки), м: 15,000;
- межа відносної похибки вимірювань сили світла,%, не більше:
 - 1) для джерел “білого” світла A, B, C, D65 *: $\pm 3,0$;
 - 2) для всіх типів світлодіодів та інших джерел світла, в тому числі кольорових: $\pm 4,0$;
- складові похибки вимірювань сили світла:
- похибка градування фотометричної головки по джерелам типу A,%, не більше: $\pm 1,5$;
- похибка градування фотометричної головки для кольорових джерел світла,%. не більше: $\pm 1,0$;
- похибка нелінійності функції відклику фотометричної головки,%, не більше: $\pm 1,5$;
- відносна похибка вимірювання фотометричної бази, не більше: $\pm 0,2$ %;
- колориметричний канал (колориметрична головка з блоком реєстрації і розрахунком координат кольоровості fms 10);
- діапазони вимірювання координат кольоровості: $x = (0,09/0,73)$, $y = (0,09/0,83)$;

- межі абсолютної похибки вимірювань координат кольоровості: $\Delta x = \Delta y = \pm 0,005$;
- система кріплення об'єкта вимірювання з горизонтальним і вертикальним гоніофотометрами sms 10с;
- діапазони лінійних переміщень майданчики з об'єктом вимірювання, мм, не менше:
 - 1) вісь X (ширина) від: 0 до ± 300 ;
 - 2) вісь Y (довжина) від: 0 до ± 150 ;
 - 3) вісь Z (висота) від: 0 до ± 400 ;
- крок сканування переміщень майданчики з об'єктом вимірювання, мм, не більше: 0,5;
- діапазон вимірювання кутів повороту гоніофотометра:
 - 1) в горизонтальній площині: від 0 до $\pm 200^\circ$;
 - 2) у вертикальній площині від: 0 до $\pm 100^\circ$;
- мінімальний крок сканування кутів повороту гоніофотометрів, що не більше: $0,02^\circ$;
- межі абсолютної похибки вимірювання кутів повороту гоніофотометрів, не більше: $\pm 0,05^\circ$;
- максимальні напруги і сила постійного струму на виході: 50В, 20А;
- максимальна вихідна потужність: 600Вт;
- роздільна здатність установки / індикації вихідних параметрів:
 - 1) напруги постійного струму: 1мВ;
 - 2) сили постійного струму: 1мА;
- межі абсолютної похибки установки напруги постійного струму на виході: $\pm 10\text{мВ}$;
- межі абсолютної похибки установки сили постійного струму на виході: 10мА;
- нестабільність вихідних параметрів при зміні навантаження:
 - 1) напруги постійного струму: $\pm 5\text{мВ}$;
 - 2) сили постійного струму $\pm 2\text{мА}$;

- напруга живлення: 220 ± 22 В, 50 ± 1 Гц;
- потужність (без урахування досліджуваного джерела світла), ВА, не більше: 150;
- габаритні розміри, м, не більше:
 - 1) приміщення $18,0 \times 3,7 \times 3,5$;
 - 2) система кріплення об'єкта вимірювання з горизонтальним і вертикальним гоніофотометрах і юстировочного променя sms10c: $1,8 \times 0,8 \times 1,7$;
 - 3) стійка з блоками управління і живлення $0,6 \times 0,6 \times 1,7$;
 - 4) маса (сумарна), кг, не більше: 1000;
- середній термін служби, років, не менше: 10.

Засіб повинен експлуатуватися при температурі навколишнього середовища від: 15 до 25 ° С і відносній вологості не більше 80%.

Засіб є відновлюваним виробом.

Засіб “Гоніофотометр X-Rite” [27] має наступну комплектацію:

- оптичний стенд;
- систему кріплення об'єкта вимірювання з горизонтальним і вертикальним
 - гоніофотометрами і юстировочним лазером smsl0c;
 - канал вимірювань сили світла sms 10s:
 - 1) фотометрична головка, заводський номер 0742-76L;
 - 2) попередній заводський номер VV 10 07300073;
 - 3) система збору даних;
 - канал вимірювань координат кольоровості fins 10:
 - 1) колориметрична головка, заводський номер 07450036;
 - 2) блок реєстрації і розрахунку координат кольоровості;
 - блок живлення об'єкта вимірювання типу sntl0, заводський номер T-075501 12;
 - комп'ютер із спеціальним програмним забезпеченням LightCon;
 - керівництво по експлуатації.

Таким чином, у даному підрозділі проведено аналіз існуючих

гоніофотометрів та гоніофотометричних установок, показано їх можливості, переваги та недоліки.

1.3 Постановка задачі та шляхи її вирішення

Як було показано у попередніх підрозділах, світлодіодні джерела світла є на сьогодні найбільш перспективними джерелами світла. Їх основні переваги – економічність та значний строк служби – компенсують їх високу вартість. Слід відзначити, що вартість світлодіодних джерел світла стрімко зменшується, а уряди деяких країн виділяють дотації на встановлення світлодіодних джерел світла.

Гоніофотометри використовуються для вирішення великої кількості завдань в оптичній метрології світлодіодних джерел світла. Для досягнення високого ступеня точності вони повинні відповідати певним вимогам. Перш за все, повинна бути забезпечена стабільність вимірюваного джерела світла. Моделі з обертовими джерелами світла не можуть забезпечити високу точність, оскільки положення працюючого джерела світла змінюється під час проведення вимірювання, через що змінюються умови відводу тепла. А оскільки світлодіоди чутливі до температури, гоніофотометри з дзеркалом на оптичних осях також не можна вважати слушними, оскільки постійне переміщення контрольного джерела освітлення в значній території веде до значної зміни температури, що змушує сповільнювати швидкість вимірювання, щоб уникнути зміни фотометричних параметрів.

Метою даної магістерської дипломної роботи є розроблення апаратних засобів та алгоритмів оброблення даних при експериментальному дослідженні світлодіодних джерел світла для підвищення точності математичних моделей, які будуються в результаті цих досліджень.

Для досягнення мети необхідно вирішити наступні задачі:

- провести аналіз сучасних світлодіодних джерел світла;

- провести аналіз сучасних засобів дослідження джерел світла;
- обґрунтувати підхід до світлодіодів як до багатопараметричних об'єктів вимірювання;
- розробити методику проведення експериментальних досліджень світлодіодних джерел світла, яка забезпечує високу точність побудови їх математичних моделей;
- розробити комплекс апаратних засобів для проведення експериментальних досліджень світлодіодних джерел світла;
- розробити програмне забезпечення для оброблення, при виконанні пункту 5, отриманих результатів вимірювання.

Відповідно до мети у даній магістерській дипломній роботі необхідно створити комплекс обладнання, який дав би змогу підвищити точність отриманих у результаті експериментальних досліджень, проведених за його допомогою, математичних моделей світлодіодних джерел світла. Можливість підвищення точності виникає за рахунок врахування температури кристала світлодіода, аналогічно, як це зроблено у [4] щодо фотодіодів. Для цього слід, як це зроблено у [4], розробити відповідну методику, засоби та алгоритми, які дадуть змогу ідентифікувати індивідуальну функцію перетворення світлодіода, що входить у досліджуване джерело світла.

Таким чином, у даному параграфі проведено аналіз можливих шляхів вирішення поставленої задачі – розроблення апаратних засобів та алгоритмів оброблення даних при експериментальному дослідженні світлодіодних джерел світла для підвищення точності математичних моделей, які будуються в результаті цих досліджень.

2 АПАРАТНІ ЗАСОБИ ДОСЛІДЖЕННЯ СВІТЛОДІОДНИХ ДЖЕРЕЛ СВІТЛА

2.1 Пропонована методика дослідження світлодіодних джерел світла

Основним недоліком відомих засобів дослідження світлодіодних джерел світла є те, що вони не враховують температуру кристалу СД. Це не дає можливості об'єктивно оцінити ККД окремих типів СД, достатньо адекватно будувати моделі СД джерел освітленості, враховувати вплив засобів охолодження на параметри світлодіодних джерел світла і т. п.

Тому у даній дипломній роботі запропоновано при дослідженні СД враховувати вплив температури на його параметри. При цьому, під час роботи (генерації світлового потоку) СД доволі сильно нагріваються. Степінь нагрівання СД дуже залежить від умов охолодження. У такому випадку температура оточуючого середовища, радіатора чи навіть корпусу СД не може служити адекватним параметром моделі СД.

Для отримання коректних параметрів моделі світлодіода необхідно вимірювати температуру кристалу СД. Саме температура кристала безпосередньо впливає на світлові параметри світлодіода. Всі інші температури (корпусу, радіатора, оточення) є похідними від температури кристалу і залежать як від температури кристалу, так і від умов охолодження, досконалості конструкції, корпусу та радіатора, а також умов теплопередачі між ними. Тому, при дослідженні параметрів світлодіодних джерел світла необхідно вимірювати, крім світлових параметрів, також температуру саме кристалу світлодіода.

Ніякі зовнішні датчики температури не можуть виміряти температуру кристалу світлодіода. Всі вони, тільки через свою присутність, порушують умови теплообміну світлодіода з іншими елементами (радіатором та зовнішнім середовищем). Тому, при вимірюванні температури кристалу зовнішніми датчиками температури, виникає значна методична похибка, яку практично неможливо корегувати. Адже умови теплообміну між кристалом світлодіода та зовнішнім датчиком температури не є відомими з достатньою точністю.

Для вимірювання температури кристалу світлодіода доцільно використати залежність вольт – амперної характеристики світлодіода від температури [3]. Всі напівпровідникові елементи мають відносно значні температурні коефіцієнти своїх параметрів. Однак, ці температурні коефіцієнти мають відносно великі індивідуальні особливості. Тому, на першому етапі, перед дослідженням світлодіодного джерела світла необхідно визначити його індивідуальні параметри як давача температури кристалу. Слід відзначити, що функції перетворення напівпровідникових елементів за різними впливаючими величинами взаємопов'язані, тобто маємо значний вплив на співвідношення між двома параметрами інших впливаючих величин. Зокрема, на функцію перетворення світлодіода як давача температури значний вплив має освітленість його кристалу або генерація ним світлового потоку.

У такому випадку необхідно давач температури (світлодіод) ізолювати від впливу інших впливаючих величин, зокрема від дії освітленості або генерованого світлового потоку. Тому, при дослідженні індивідуальної функції перетворення світлодіода як давача температури, необхідно:

- виключити робочий струм світлодіода (який приводить до генерації світлового потоку);
- помістити світлодіод (або світлодіодне джерело світла повністю) у термостат з можливістю регулювання температури у діапазоні експлуатації світлодіодного джерела світла.

У такому випадку, температура кристалу світлодіода прийме температуру всередині термостата (пройде вирівнювання температури у робочому об'ємі термостата). Для визначення індивідуальної функції перетворення світлодіода як давача температури можна вимірювати спад напруги на ньому при заданому струмі через світлодіод. Однак такий метод вимагає створення прецизійного стабілізатора струму світлодіода, який необхідно розміщувати поза термостатом. Доцільніше вимірювати і спад напруги на світлодіоді і струм через нього. Попередні розрахунки показали, що у такому випадку струм може мінятися у межах 10%. Таким чином, ми повинні визначити залежність функції перетворення

світлодіода не лише від температури в термостаті, а і від робочого струму. Для цього під час дослідження необхідно задавати струм світлодіода, наприклад, у точках, приблизно рівних струму вимірювання – 10%, струму вимірювання – 5%, струму вимірювання, струму вимірювання + 5%, струму вимірювання + 10%. Таким чином, пропонується підхід до світлодіодного давача температури як до багато параметричного сенсора, аналогічно, як це було зроблено у [4] щодо фотодіода. При цьому, в режимі ідентифікації індивідуальної функції перетворення, вхідними параметрами світлодіода як давача температури є струм світлодіода та температура в термостаті, де світлодіод розміщений. Вихідним параметром є спад напруги на світлодіоді. Для достатньо повної ідентифікації функції перетворення світлодіода як давача температури, такі дослідження необхідно проводити у діапазоні температур, що відповідає діапазону експлуатації світлодіодного джерела світла з кроком 5-10°C. Аналогічний підхід до фотодіодів, як давачів температури був запропонований у [4]. Там же був запропонований метод скорочення кількості точок експериментальних досліджень, описаний у [28]. Адже, повні експериментальні дослідження у запропонованій кількості точок (5 точок по струму та 9-18 точок по напрузі) вимагають проведення експерименту у від 45 до 90 точках. Такі дослідження є надто трудомісткими, тому, використання методу, описаного в [28-30], який дозволяє зменшити кількість точок експериментальних досліджень щонайменше у 5 разів, є доцільними. У таблиці 2.1 показано результати досліджень індивідуальної функції перетворення світлодіода як давача температури.

Таблиця 2.1 – Результати досліджень індивідуальної функції перетворення світлодіода як давача температури

$t^{\circ}_{\text{термостата}}$	$I_{\text{СД}}$	$U_{\text{СД}}$
$t^{\circ}_1 \text{ термостата}$	$I_1 \text{ СД}$	$U_1 \text{ СД}$
...
$t^{\circ}_n \text{ термостата}$	$I_n \text{ СД}$	$U_2 \text{ СД}$

В цій таблиці, для спрощення експериментальних досліджень, задаються значення температури в термостаті (задаються приблизно, а вимірюються з високою точністю) і струму світлодіода (задаються приблизно, а вимірюються з високою точністю). Адже НМ при навчанні не вимагає рівномірного розміщення точок вимірювання температури у діапазоні дослідження [31].

Для навчання НМ, яка буде визначати температуру кристалу за вимірними значеннями струму через світлодіод та спаду напруги на ньому, дані з таблиці 2.1 необхідно переформатувати у навчальну вибірку НМ, структура якої подана в таблиці 2.2. У таблиці 2.2 на вхід НМ будуть поступати вимірні струм світлодіода та напруга на ньому, тобто, НМ буде навчатися у режимі, який строго відповідає режиму її експлуатації.

Якщо при дослідженні індивідуальної функції перетворення, вхідними величинами є температура в термостаті та струм світлодіода, а вихідною – спад напруги на світлодіоді, то при навчанні нейронної мережі, яка повинна визначати значення температури, необхідно поміняти місцями вхідні і вихідні вимірювальні величини [4].

Таблиця 2.2 – Навчальна вибірка НМ визначення температури кристалу світлодіода

$I_{\text{сд}}$	$U_{\text{сд}}$	$t^{\circ}_{\text{термостата}}$
$I_{1 \text{ сд}}$	$U_{1 \text{ сд}}$	$t^{\circ}_{1 \text{ термостата}}$
...
$I_{n \text{ сд}}$	$U_{2 \text{ сд}}$	$t^{\circ}_{n \text{ термостата}}$

На другому етапі дослідження світлодіодного джерела світла, розміщуємо його в гоніофотометрі та встановлюємо параметри для його дослідження (відстані, кути, ракурси). При цьому, вмикаємо робочий струм світлодіода і доводимо його до необхідного при дослідженні значення. При цьому, необхідно вимірювати світлові параметри світлодіодного джерела світла. Для цього найдоцільніше використати фотометри, аналогічні до розроблених в [4].

Фотометри, що розроблені в [4], призначені для вимірювання ультрафіолетового випромінювання. Однак, розроблені методи і засоби можуть забезпечити високу точність вимірювання і при використанні фотодіодів видимого спектру світла. Отримані при цьому показники точності є порівняно дуже високими – досягнута похибка вимірювання параметрів фотодіода не перевищує 0,35%. Однак те, що похибки взірцевих джерел світла першого розряду становлять $\pm 1\%$, загальну похибку можна визначити як 1,1%, що значно краще за існуючі аналоги. Результати вимірювання світлових параметрів світлодіодного джерела світла заносимо в його табличну модель відповідно до режимів і параметрів дослідження.

На третьому етапі вимірюється температура кристалу світлодіода. Для цього необхідно вимкнути джерело робочого струму світлодіода та ізолювати світлодіод від зовнішніх джерел світла. Після цього необхідно якнайшвидше виміряти спад напруги на світлодіоді та струм через нього. Адже, при вимкненні робочого струму, світлодіод остиває, тобто з'являється динамічна похибка вимірювання температури. Через те, що напруга на світлодіода змінюється швидше, ніж струм через нього, то спад напруги на світлодіоді слід вимірювати першим.

При відсутності робочого струму та впливу зовнішніх джерел світла, світлодіод повертається в той самий режим роботи, який витримувався на першому етапі. Таким чином, світлодіод, як давач температури, потрапляє в аналогічні умови як і під час ідентифікації його індивідуальної функції перетворення. Такий підхід забезпечує високу точність вимірювання температури кристалу світлодіода. Значення температури кристалу світлодіода обчислює навчена при виконанні першого етапу НМ. Результат обчислення температури кристалу світлодіода записується в табличну модель відповідно до встановлених параметрів світлодіодного джерела світла.

Для реалізації пропонованої методики дослідження світлодіодного джерела світла необхідно розробити узагальнену структурну схему апаратних засобів, потрібних при проведенні дослідження, а також структурні схеми відповідних

вимірювальних, керуючих та інших каналів, які входять в дану структурну схему. Таким чином, у даному підрозділі запропоновано методику дослідження світлодіодних джерел світла, яка дає можливість врахувати вплив на ці параметри температури кристалу світлодіода.

2.2 Апаратні засоби, необхідні для реалізації першого етапу дослідження світлодіодних джерел світла

Як було вказано у підрозділі 2.1, на першому етапі дослідження світлодіодних джерел світла необхідно задавати:

- температуру у термостаті;
- струм світлодіода, необхідний для вимірювання температури за його допомогою.

На першому етапі дослідження світлодіодних джерел світла необхідно вимірювати:

- спад напруги на світлодіоді;
- температуру у термостаті.

Необхідним елементом задання температури у термостаті є відповідна система терморегулювання. Структурна схема запропонованої системи представлена на рисунку 2.1.

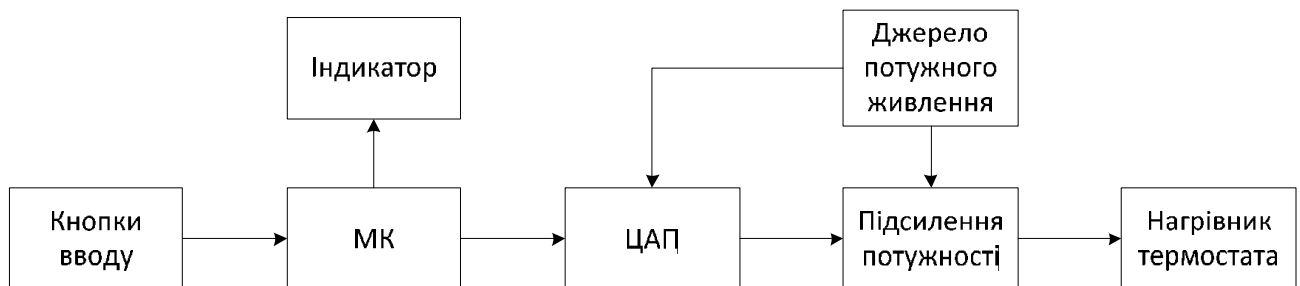


Рисунок 2.1 – Структурна схема системи терморегулювання

У схемі рисунку 2.1 використано розімкнуту систему регулювання без зворотного зв'язку [32]. Її перевагою є відсутність схильності до самозбудження. При цьому, похибка задання температури велика, але це не має великого значення – нейронна мережа не потребує подачі на вхід точно заданих значень температури. На практиці досить легко дослідити, яким значенням заданої потужності відповідає потрібна температура в термостаті. Через те, що значення потужності, яку споживає термостат, велике, та через велику інерційність термостата використовуємо широтно – імпульсний модулятор [33]. У такому випадку підсилювачем потужності буде тиристор, а ЦАП буде транзисторний ключ та імпульсний трансформатор. Також доцільно використати частотне керування тиристором [34].

Принципова схема системи задання температури у термостаті подано на рисунку 2.2. в її склад входять:

- дві кнопки S1 “+” та S2 “-”, які служать для збільшення або зменшення заданої потужності нагрівача термостата;
- конденсатори C1 і C2, які усувають дріботіння контактів кнопок S1 і S2;
- мікроконтролер, який реалізує ШІМ та індикацію заданого рівня потужності;
- двійковий індикатор на світлодіодах V1 ... V8, струм через які задається резисторами R1... R8;
- транзисторного ключа на транзисторі V9, струм бази якого задається резистором R9, а струм колектора обмежується резистором R10, конденсатор C3 служить для зменшення імпульсних завад, які проникають у коло живлення;
- імпульсного трансформатора, навантаженого на резистор R11 та вхід тиристора V10;
- силового кола, яке складається з підключеного до фази мережі тиристора V10, який навантажений на нагрівач H1;
- кола синхронізації, куди входить підключений до фази мережі подільника напруги на резисторах R12, R13 та обмежувальному діоді V11, вихід

кола синхронізації підключений до входу мікроконтролера МК і дає можливість реалізувати частотний метод керування.

При визначенні температури світлодіода можливі два варіанти формування струму через світлодіод. Перший варіант полягає в тому, що цей струм слід задавати за допомогою стабілізатора струму [35].

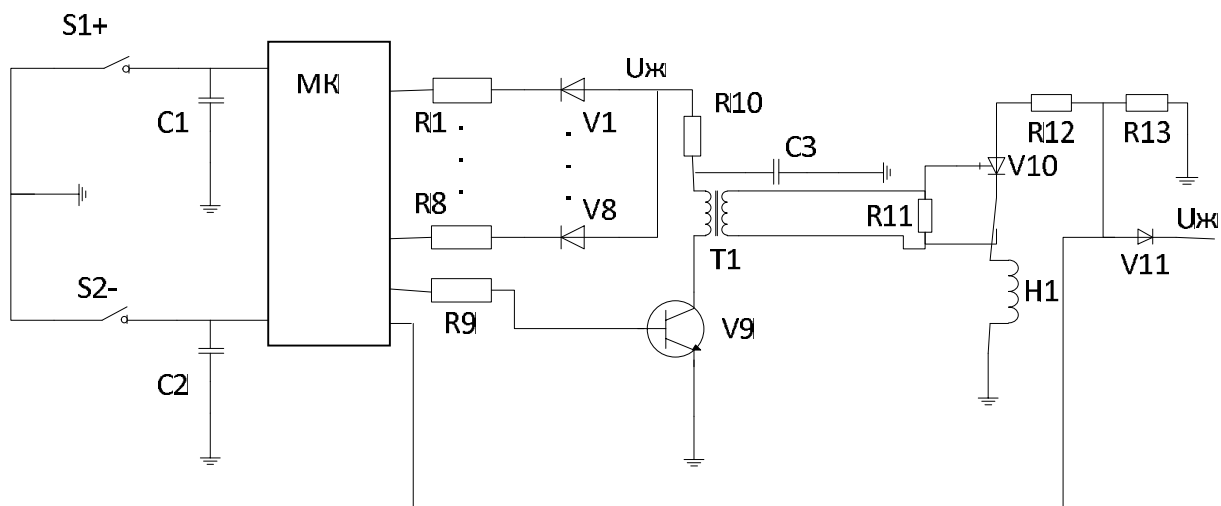


Рисунок 2.2 – Принципова схема системи задання температури у термостаті

Тоді значення струму світлодіода не залежить від умов його роботи. Однак, стабілізатор струму є достатньо складним елементом і може погано працювати при проходженні через світлодіод робочого струму. Другий варіант полягає в тому, що можна задати струм близький до потрібного і вимірювати його під час вимірювання температури кристалу [4]. Вибираємо другий варіант, який є універсальнішим. Структурна схема, яка реалізує цей другий варіант подана на рисунку 2.3.

У цій схемі джерело робочого струму світлодіода V1 задає струм під час генерації світлового потоку. Ключ S1 служить для вмивання та вимикання робочого струму світлодіода V1. Резистор R3 служить для вимірювання цього робочого струму. Джерело напруги формує струм, який проходить через світлодіод V1 під час вимірювання температури його кристалу. Вимірювальний струм задається резисторами R1 і R2. Резистор R2 служить також для

вимірювання струму, що проходить через світлодіод V1 під час вимірювання його температури.

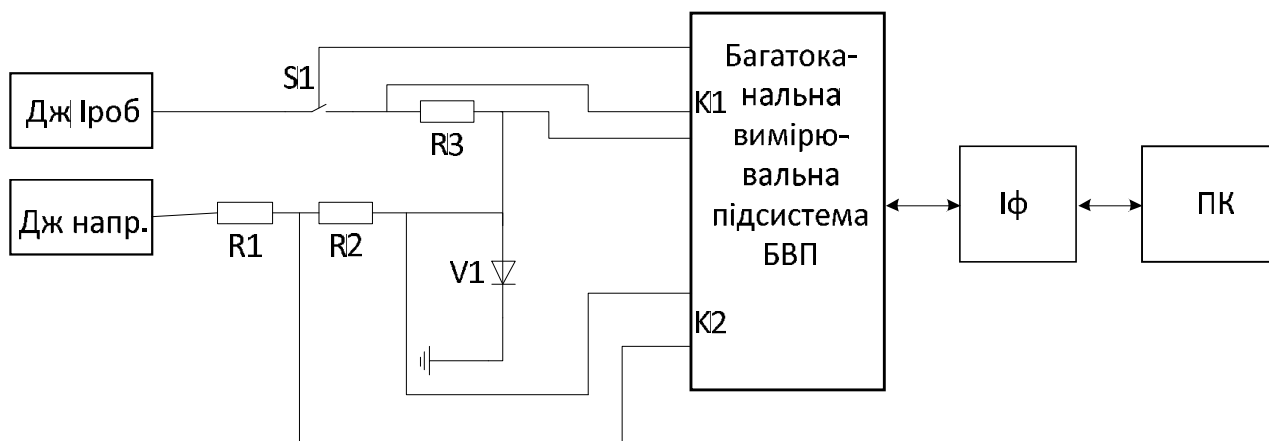


Рисунок 2.3 – Структурна схема реалізації другого варіанту формування струму через світлодіод

Спади напруг на резисторах R2 і R3 вимірює багатоканальна вимірювальна підсистема БВП. Результати вимірювання поступають у персональний комп'ютер ПК через інтерфейс ІФ. Слід відзначити, що резистори R2 (опір приблизно 1 кОм) та R3 (його опір визначається робочим струмом світлодіода V1) не мусять бути точними. Їх опір слід виміряти з високою точністю і отримані значення опору внести у пам'ять мікроконтролера МК для використання при обчисленні струму. Таким чином, до резисторів R2 і R3 ставляться вимоги забезпечення високої стабільності та малого температурного коефіцієнта. Слід відзначити, що значення опору резистора R3 так само, як і вихідного струму джерела робочого струму ми наперед задати не можемо. Вони визначаються досліджуваним світлодіодним джерелом світла.

Наступною вимогою є необхідність вимірювання температури у термостаті. Для цього, по-перше, необхідно вибрати необхідний давач температури, виходячи з діапазону вимірювання температур кристалу світлодіода. Цей діапазон приблизно відповідає діапазону робочих температур світлодіодного джерела світла, який в більшості випадків становить від -30 до +60 °С [1, 2]. У цьому діапазоні можна використати [36, 37] термопари, термометри опору, термістори

та напівпровідникові давачі, які можуть бути виконані на базі звичайних діодів та напівпровідникових пристроїв з уніфікованим вихідним сигналом [38]. Найкраще за ціною та похибкою вимірювання температури вимогам відповідають мідні термометри опору типу 100М [39]. Для такого термометра $R_0 = 100\text{ Ом}$, температурний коефіцієнт опору – $0,426\%/^{\circ}\text{C}$, а самонагрів $0,2^{\circ}\text{C}/10\text{ мВт}$. Похибки таких термометрів [37, 39] при 0°C складають $0,1\%$ (що відповідає $0,25^{\circ}\text{C}$), а при 100°C – $0,2\%$ (що відповідає $0,5^{\circ}\text{C}$). Такі похибки вимірювання температури є прийнятними. Слід відзначити, що мідний термометр опору, який включений у склад вимірювальної системи, залишається одним і тим самим для всіх досліджуваних точок температури. Тому його похибка не веде до створення випадкової похибки вимірювання температури, яка буде збивати навчання нейронної мережі.

Структурна схема кола вимірювання температури в термостаті подана на рисунку 2.4 [40].



Рисунок 2.4 – Структурна схема кола вимірювання температури в термостаті

У цій схемі резистор R_1 задає струм мідному термометру опору. Резистор R_2 служить для вимірювання струму через мідний термометр опору. Цей резистор також не мусить бути точний, але повинен бути стабільний та мати малий температурний коефіцієнт опору. Для забезпечення достатньої точності вимірювання струму мідного термометра опору, значення опору резистора R_2 вимірюємо з похибкою негірше $0,1\%$ та вводимо це значення у мікроконтролер.

Опір мідного термометра опору R_T змінюється від температури відповідно до формули 2.1 [37]:

$$R_t^0 = R_0(1 + \alpha t^0), \quad (2.1)$$

де R_0 – опір мідного термометра опору при 0°C ;

α – температурний коефіцієнт опору, рівний $0,426\%/^\circ\text{C}$;

t^0 – поточна температура у $^\circ\text{C}$.

За результатами вимірювання спадів напруги U_{R_2} і U_{R_t} на резисторах R_2 і R_t можна записати формулу 2.2:

$$I = \frac{U_{R_2}}{R_2} = \frac{U_{R_t}}{R_t} \quad (2.2)$$

Звідси (формулу 2.3):

$$R_t = R_2 \frac{U_{R_t}}{U_{R_2}} \quad (2.3)$$

Підставивши формулу 2.2 у формулу 2.3 і перетворивши, отримаємо формулу 2.4:

$$t^0 = \frac{1}{\alpha} \left(\frac{R_2}{R_0} \frac{U_{R_t}}{U_{R_2}} - 1 \right) \quad (2.4)$$

Багатоканальну вимірювальну підсистему БВП найкраще виконати на базі мікроконвертора ADuC 834 [41]. Мікроконвертора ADuC 834 включає комутатор (на МОН транзисторах), аналогово – цифровий перетворювач АЦП (сигма дельта), 24 розряди, діапазон перетворення $2,56\text{V}$ до $2,56\text{V}/128$, мікроконтролер (сумісний з серією MCS 51), інтерфейс RS 232 (підтримує всі режими роботи) та цифро – аналоговий перетворювач ЦАП (12 розрядів). Структурна схема мікроконвертора ADuC 834 подана на рисунку 2.5.

Однак, комутатор на МОН транзисторах, який входить в склад мікроконвертора ADuC 834, не витримує достатньо високих напруг завад загального виду та міжканальних напруг, які можуть виникнути у розроблюваній системі. Тому пропонується використати як комутаційні елементи реле РГК-15 [42] з додатковими термовирівнювачами [43, 44]. Конструктивна схема таких комутаційних елементів подана на рисунку 2.6. Такий комутатор витримує напруги до 300V.

Запропонована конструкція термовирівнювача (рисунок 2.6) передбачає виконання контактних площадок 5, в які впаяні сусідні контакти окремих герконів 2, у вигляді видовжених прямокутників тільки з сторони плати, протилежної встановленню реле 1 [43, 44]. Зазор між контактними площадками виконується

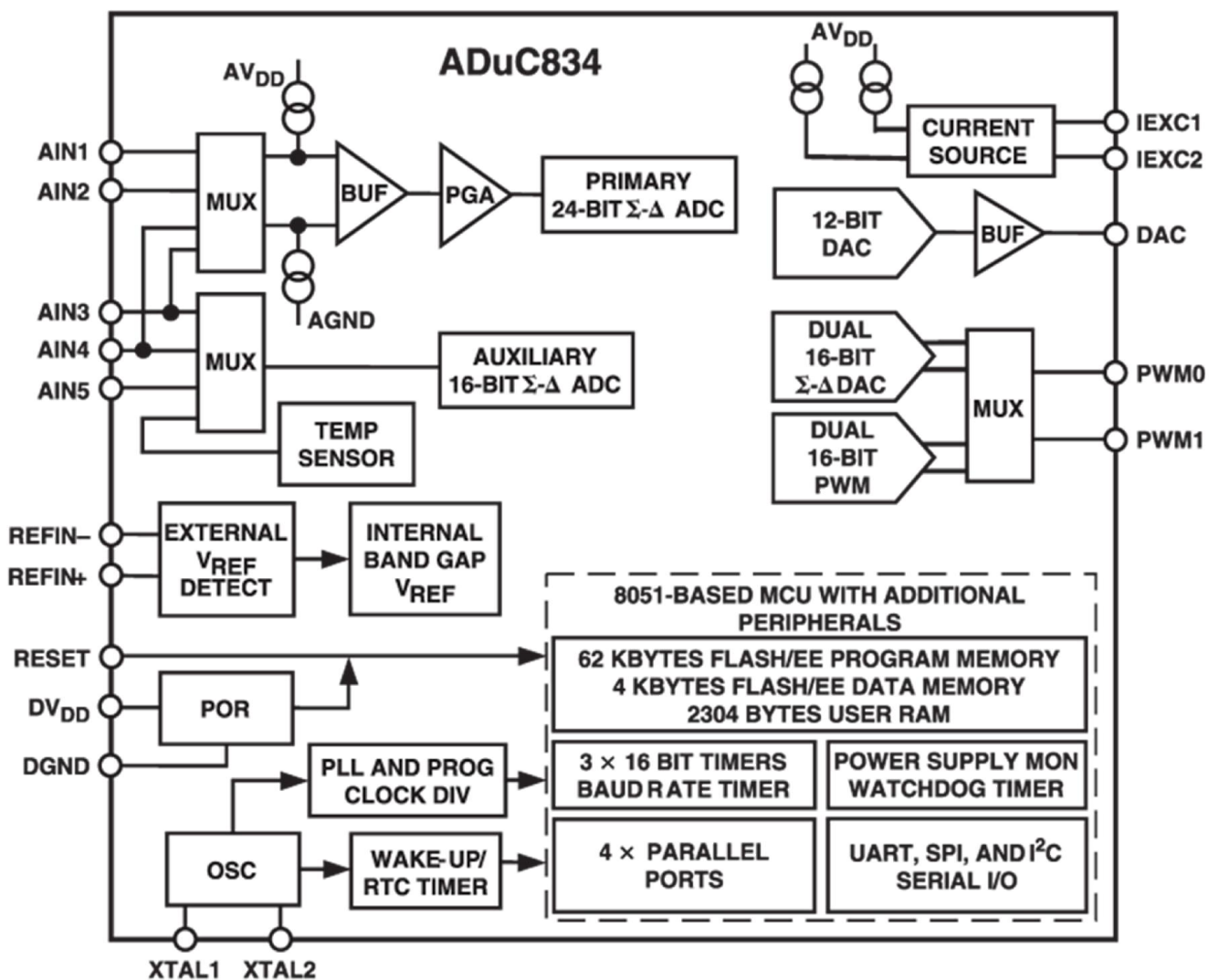


Рисунок 2.5 – Структурна схема мікроконвертора ADuC 834

мінімально допустимим з точки зору технології виготовлення друкованих плат. Контакти герконів впаюються в неметалізовані отвори контактних площадок з надлишком припою, який повинен створити на кожній площадці валики 6 напівциліндричної форми. Простір між цими валиками заповнюють теплопровідною пастою 7 на базі окису берилію, наприклад, типу КТП-8. Друковану плату 3 покривають термоізоляційним компаундом 4 з обох сторін. Пропонований термовирівнювач не вимагає дорогих і дефіцитних матеріалів, складного і дорогого технологічного обладнання. Додатково вводиться тільки одна технологічна операція – заповнення щілини між валиками теплопровідною пастою. Габарити плати не збільшуються, маса зростає мало. Тому пропонована конструкція термовирівнювача доцільна, а використання конструктивно-технологічних методів виправдане. Експериментальні дослідження комутатора показали, що залишкову паразитну ЕРС в цехових умовах експлуатації зменшено до 1 мкВ.

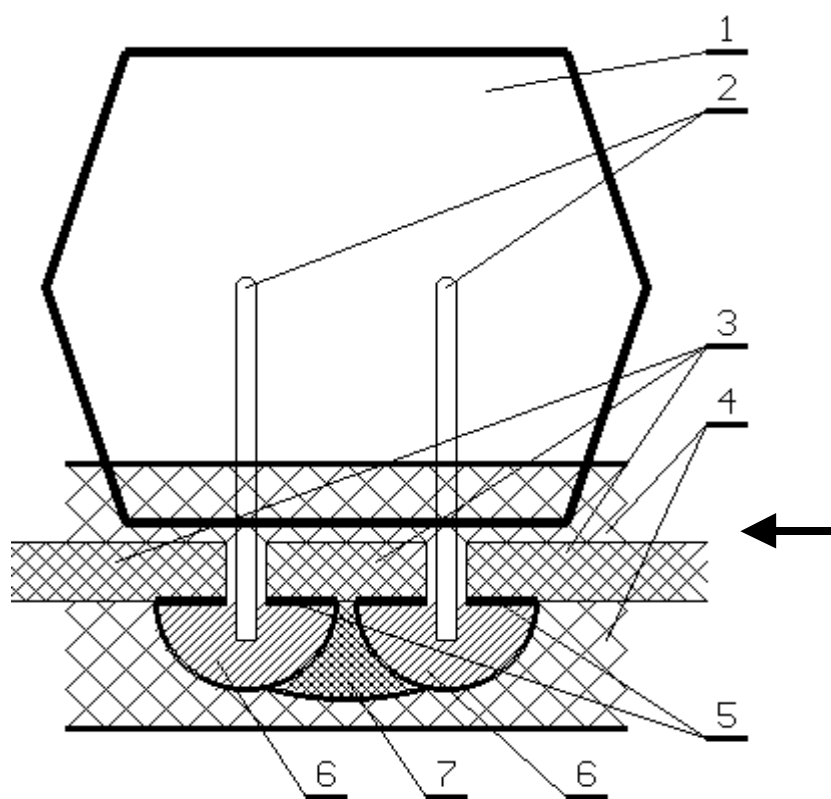


Рисунок 2.6 – Конструктивна схема комутаційних елементів на базі реле РГК-15

Як інтерфейс доцільно використати канал RS 232 [45]. Однак, напруги логічно “0” і логічної “1” мікроконвертора [41] відрізняються від стандарту RS 232. Принципова схема перехідних каскадів подана на рисунку 2.7 [46].

У цій схемі реалізовано 2 канали:

– передачі даних (результатів вимірювання) від мікроконтролера, що входить у склад мікроконвертора до персонального комп’ютера. У цей канал безпосередньо входять резистори R1, R3 та транзистор V2. У неробочому стані на виході мікроконтролера утримується логічна “1”, тобто напруга +5V. Тоді транзистор V2 є закритим, на вхід приймача персонального комп’ютера RxD ПК поступає через резистор R3 напруга -12V з конденсатора C1. Така напруга відповідає логічній “1” стандарту RS 232. При передачі логічного “0” транзистор V2 насичується (з джерела +5V через базу – емітерний перехід транзистора V2 та резистор R1 проходить струм бази V2, який підсилюється у β разів). Тоді напруга

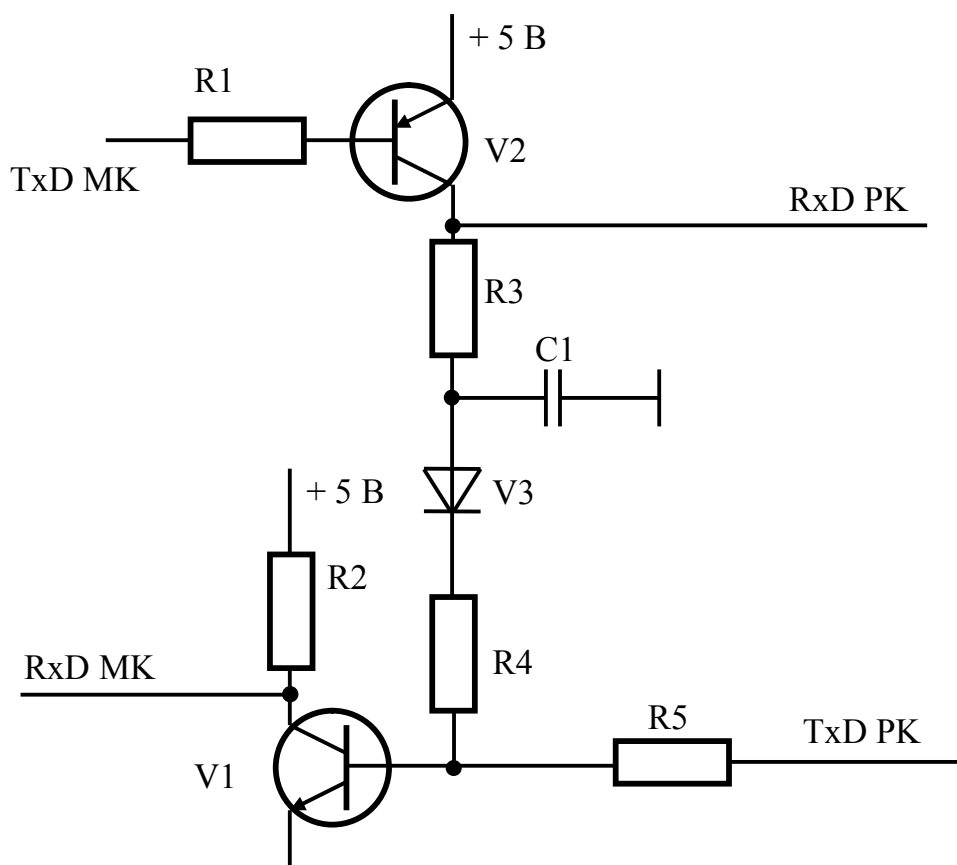


Рисунок 2.7 – Принципова схема перехідних каскадів

на колекторі V2 стає близькою до +5V. Таке значення напруги на вході приймача персонального комп'ютера RxD ПК відповідає логічному "0" стандарту RS 232.

– Передачі команд від персонального комп'ютера до мікроконтролера. У цей канал входять резистори R2, R5 та транзистор V1. У неробочому стані на виході передавача персонального комп'ютера TxD ПК є напруга логічної "1" (згідно стандарту RS 232 це напруга -12V). Тоді транзистор V1 закритий, струм його бази рівний 0 тому струм колектора також рівний 0. На вхід мікроконтролера, через резистор R5 поступає напруга +5V, що відповідає рівню логічної 1. При передачі логічного "0" на виході передавача персонального комп'ютера TxD ПК появляється напруга +12V (що відповідає логічному "0" стандарту RS 232). Тоді, через резистор R5 та базу – емітерний перехід транзистора V1 проходить струм, який насичує транзистор V1. Напруга на колекторі транзистора V1 стає близькою до 0. Таким чином, на мікроконтролер поступає сигнал логічного "0".

У схемі рисунка 2.7 резистори R4, діод V3 та конденсатор C1 грають роль "віртуального" джерела напруги живлення, яке створює сигнал логічної "1" (напругу -12V) на вході приймача персонального комп'ютера RxD ПК. Коли на виході передавача персонального комп'ютера TxD ПК є логічна "1", тобто напруга -12V, конденсатор C1 заряджається через резистор R4 і діод V3 до цієї напруги. Коли на виході передавача персонального комп'ютера TxD ПК є напруга +12V (тобто передається логічний "0") то діод V3 закривається і не дає конденсатору C1 розрядитися. Коли на виході мікроконтролера є напруга логічної "1", тобто +5V, транзистор V2 закритий і напруга -12V через резистор R3, поступає на вхід приймача персонального комп'ютера RxD ПК. Тобто саме напруга на конденсаторі C1 формує логічну "1" на вході приймача персонального комп'ютера RxD ПК. Ємність конденсатора C1 має бути достатньо великою, щоб його розряд через резистор R3 під час передачі логічного "0" від мікроконтролера до персонального комп'ютера не розрядив конденсатор C1 більше, ніж на 2-3V.

Таким чином, у даному підрозділі розроблено всі апаратні засоби, необхідні для реалізації першого етапу дослідження світлодіодних джерел світла.

2.3 Апаратні засоби, необхідні для реалізації другого етапу дослідження світлодіодних джерел світла

Відповідно до методики досліджень світлодіодних джерел світла, описаної у підрозділі 2.1, на другому етапі проводиться вимірювання світлових параметрів. Для цього необхідно:

- розмістити і закріпити світлодіодне джерело світла всередині гоніофотометра;
- подати на світлодіод робочий струм;
- витримати час, необхідний для встановлення і стабілізації світлових параметрів світлодіодного джерела світла;
- виміряти робочий струм світлодіода;
- виміряти світлові параметри світлодіодного джерела світла;
- виміряти температуру кристалу світлодіода.

Робочий струм світлодіода залежить від його типу, а схема та конструкція джерела робочого струму залежать від його значення. Тому у даній магістерській роботі, через те, що створюється універсальний засіб дослідження світлодіодних джерел світла, не визначається тип, схема та конструкція джерела робочого струму. Аналогічно, не визначаються методи формування затримки між моментом ввімкнення світлодіодного джерела світла та початком вимірювання його світлових параметрів.

Вимірювати робочий струм світлодіода при дослідженні світлодіодних джерел світла необхідно через те, що потужні джерела живлення рідко мають високу точність, достатньо для побудови математичних моделей світлодіодних джерел світла, за допомогою якої можна оцінити їх якість, економічність та інші параметри. Можливість вимірювати робочий струм світлодіода передбачена у схемі, поданій на рисунку 2.3. У коло робочого струму ввімкнутий резистор R3 (шунт). Вимірявши спад напруги на резисторі R3 та знаючи його дійсний опір, робочий струм світлодіода можна розрахувати за формулою 2.5:

$$I_p = \frac{U_{R3}}{R3} \quad (2.5)$$

Як було вказано в підрозділі 2.2, багатоканальна вимірювальна підсистема (рисунок 2.4) повинна мати достатньо високу точність для вимірювання спаду напруги на світлодіоді та на резисторі R2 при вимірюванні температури кристала світлодіода, тобто не гірше 0,05%. У такому випадку вона годиться для вимірювання робочого струму світлодіода. Похибка вимірювання робочого струму світлодіода δ_{IR} можна оцінити за формулою 2.6:

$$\delta_{IR} = \sqrt{\delta_{R3}^2 + \delta_{БВП}^2} \quad (2.6)$$

Для вимірювання світлових параметрів світлодіодних джерел світла необхідно використати відповідний фотометр. Найвищу точність при відносно малій складності та ціні забезпечують фотометри, розроблені у дисертаційній роботі О. Рощупкіна [4]. Їх узагальнена та деталізована структурні схеми приведена на рисунку 2.8 та рисунку 2.9 відповідно. Хоча в дисертаційній роботі О. Рощупкіна розроблено фотометри ультрафіолетового випромінювання, перейти до вимірювання видимого світла у них досить просто – достатньо замінити фотодіод.

Висока точність даних фотометрів досягається [4, 47]:

- підходом до фотодіода як до багато параметричного сенсора, вхідними величинами якого є світловий потік (або інший параметр, що характеризує джерело світло) та температура кристала фотодіода;
- використанням індивідуальних функцій перетворення фотодіодного сенсора по обох вхідних фізичних величинах (світлові та температурі);
- використання індивідуальних функцій перетворення вимірювального каналу, який налаштовується по взірцевих засобах вимірювання згідно спеціально розробленої методики;

- взаємозамінністю фотодіодних сенсорів та вимірювального тракту завдяки відповідній методиці ідентифікації індивідуальних функцій перетворення фотодіода та вимірювального каналу, а також запису їх параметрів у різні електронні паспорти;
- використанням нейронних мереж, як універсального засобу функціонального перетворення для відтворення індивідуальних функцій перетворення фотодіода та вимірювального каналу.

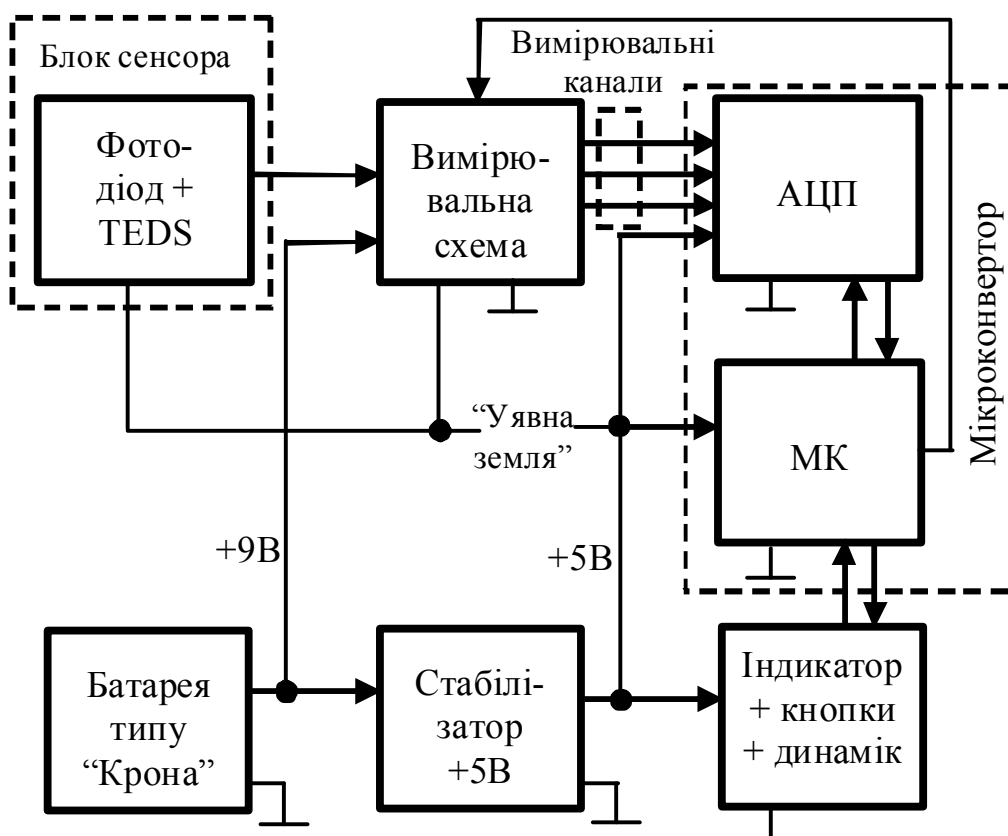


Рисунок 2.8 – Узагальнена структурна схема фотометра

В результаті отримано фотометр, сумарна похибка відтворення індивідуальної функції перетворення датчика та вимірювального каналу не перевищує 0,35% [4]. Однак, процедура ідентифікації індивідуальної функції перетворення фотодіода вимагає використання взірцевого джерела світла. А взірцеві джерела світла першого розряду забезпечують похибки відтворення і вимірювання світлових параметрів не менше 1% [48]. Тому, похибка вимірювання фотометра не може бути встановлена меншою за 1,5%. Однак, не зважаючи на це,

розроблений у [4] фотометр залишається найточнішим серед приладів аналогічного призначення.

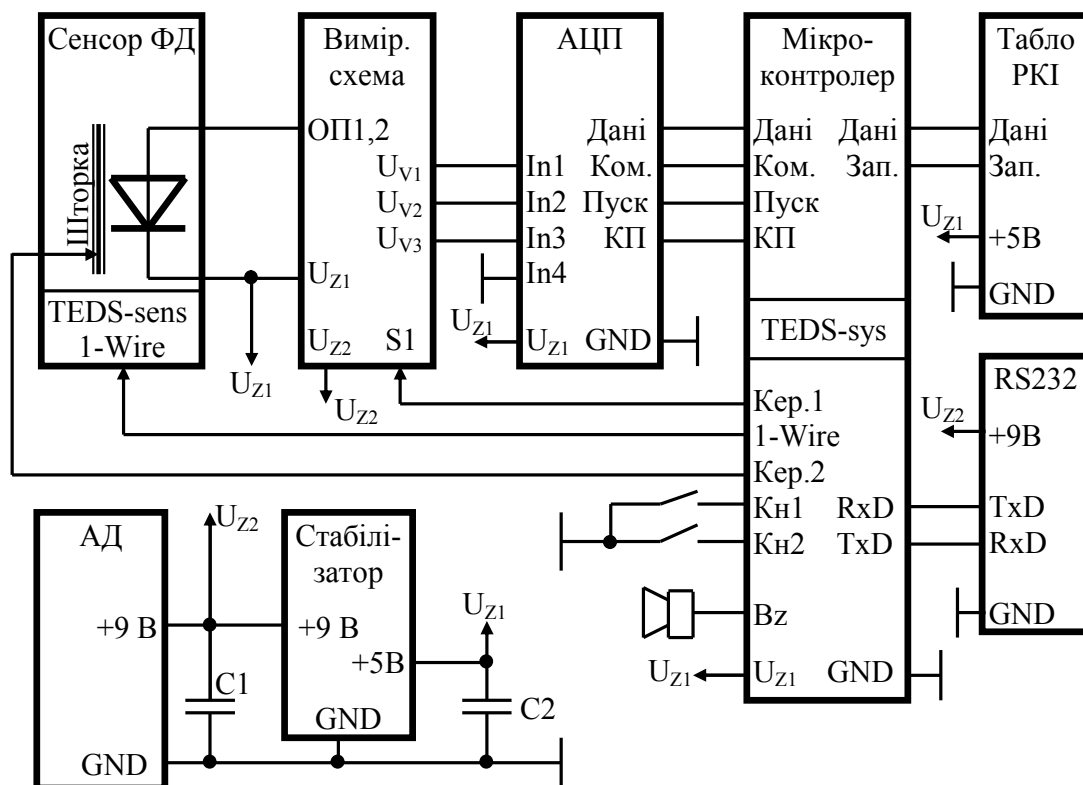


Рисунок 2.9 – Деталізована структурна схема фотометра

При вимірюванні освітленості слід вимірювати струм КЗ ФД, тобто забезпечити режим КЗ ФД. Найменший вхідний опір, тобто найкращий режим КЗ, забезпечує операційний підсилювач (ОП), а саме перетворювач струм-напруга, схема якого показана на Рисунку 2.10. Для цієї схеми вихідна напруга U_{out} визначається за формулою 2.7:

$$U_{out} = I_{PD} R1 \quad , \quad (2.7)$$

де I_{PD} – струм КЗ ФД;

$R1$ – опір резистора.

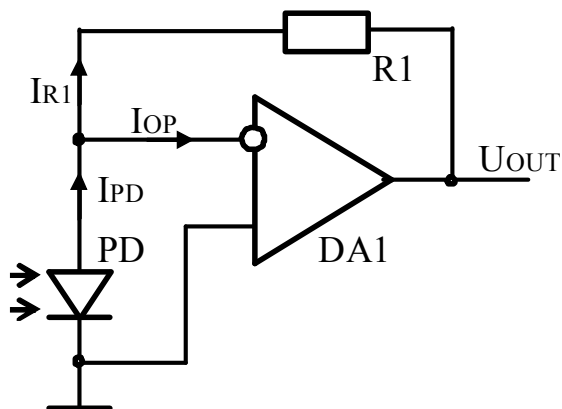


Рисунок 2.10. Принципова схема каналу вимірювання освітленості (режим КЗ ФД)

Для отримання потрібної напруги 1...2 V, яку без додаткового підсилення можна подати на АЦП, опір $R1$ не повинен бути меншим, ніж 100...150кОм, причиною цього є те, що струм ФД знаходиться в межах 10...15 мА.

Вимірювання температури кристалу світлодіода виконують безпосередньо після вимкнення його робочого струму. Це пов'язано з тим, що кристал світлодіода починає остигати. Тому вимірювання температури кристалу світлодіода слід виконувати якнайшвидше після вимкнення його робочого струму. Температуру кристалу світлодіода визначає нейронна мережа, навчена при виконанні першого етапу – ідентифікації індивідуальної функції перетворення світлодіода як давача температури. При цьому, необхідно виміряти спочатку спад напруги на світлодіоді, а потім – струм через нього. Для цього використовуємо схему рисунка 2.3. Для зменшення похибки вимірювання температури світлодіода доцільно використати ту ж саму багатоканальну вимірювальну підсистему, що і при ідентифікації індивідуальної функції перетворення світлодіода як давача температури. У такому випадку похибка, яку вносить багатоканальна вимірювальна підсистема не перевищує часової зміни параметрів елементів, які входять в цю систему.

3 АЛГОРИТМИ РОБОТИ ЗАСОБУ ДОСЛІДЖЕННЯ СВІТЛОДІОДНИХ ДЖЕРЕЛ СВІТЛА

3.1 Алгоритм дослідження світлодіода як давача температури

Алгоритм дослідження світлодіода як давача температури зображено на рисунку 3.1.

На початковому етапі роботи алгоритму відбувається ініціалізація програми пристрою керування експериментами дослідження (МК). Ініціалізуються всі потрібні змінні, константи, задаються всі потрібні параметри для кількості потужності і струму, що регулюються регулятором 1 і регулятором 2, всі ці дані формують режим роботи МК.

Наступним етапом роботи є задання температур при яких буде досліджуватися СД. Оскільки основним завданням, крім вимірювання світлових параметрів є вимірювання температури кристалу СД, то потрібно провести деяку кількість експериментів з різною температурою СД, яку буде змінювати нагрівач, яким все ж керує регулятор під дією пристрою керування експериментами дослідження (МК). Тому початковий експеримент буде проводитись при температурі СД 20°C , а кінцевий експеримент при температурі СД 80°C з кроком для проміжних експериментів в 10°C . Тобто будуть експерименти при температурах СД 20°C , 30°C , 40°C , 50°C , 60°C , 70°C та 80°C .

Наступним кроком є встановлення чергової температури дослідження, таким чином, це перший етап входу в циклічну частину алгоритму. Тут встановлюється спочатку температура, з якої починається дослідження, тобто 20°C , яка в подальших етапах буде перевірятися чи вона не остання з набору визначених температур, і якщо ні, то буде мінятися на наступну досліджувану температуру.

Далі йде етап вимірювання спаду напруги. Для того, щоб вимірювати спад напруги, потрібно вимкнути робочий струм СД – це можна реалізувати або нераціональним (неправильним) способом, елементарно вимкнувши живлення

світло діода і після цього вимірювати спад напруги на СД, або ж ввімкнути струм вимірювання $I_{\text{ВІМ}}$ і, аналогічно, вимірювати спад напруги на СД (здійнюється $I_{\text{КЗ}}$).

Наступним етапом проведення експерименту є перевірка чи вже всі, задані раніше температури для проведення експерименту, були задані і досліджені, якщо так, то алгоритм переходить до наступного етапу дослідження, якщо ж ні, то встановлюється наступна температура, яку потрібно досліджувати (з переліку температур, які були задані на початку) здійснюється повернення до етапу встановлення чергової температури СД, далі знову здійснюється перехід до етапу вимірювання спаду напруги шляхом відключення робочого струму СД і після знову здійснюється перевірка чи всі температури були задіяні, і так відбувається циклічно, поки не будуть встановлені всі температури, з якими потрібно провести експеримент.

Отже, будемо вважати, що всі температури СД були встановлені, тоді приступаємо до етапу формування навчальної вибірки для НМ. НМ являє собою обчислювальну архітектуру для обробки складних даних за допомогою безлічі пов'язаних між собою процесорів і обчислювальних шляхів. Необхідна навчальна вибірка, що складається з прикладів здійснення навчання нейронної мережі. Кожен приклад являє собою задачу одного і того ж типу з індивідуальним набором умов і заздалегідь відомим відповіддю. Наприклад, в якості набору умов можна використовувати інформацію про обстеження одного хворого, тоді наперед відомою відповіддю в цьому прикладі може бути діагноз. Певна кількість прикладів з різними відповідями відповідно утворюють навчальну вибірку.

Всі записи навчальної вибірки, яка розташовується в БД, є окремими прикладами, тобто кожен запис являється прикладом. Далі йде наступний етап, в якому здійснюється формування тестової вибірки для НМ. На цьому етапі формуються приклади з відповідями, які будуть використовуватися перед навчанням для тестування навчальної вибірки.

Наступним етапом в роботі алгоритму йде навчання НМ, що реалізовано ФП СД як давача, розглянемо схему навчання НМ. З навчальної вибірки береться поточний приклад (спочатку, перший) і його вхідні параметри (що представляють

в сукупності вектор вхідних сигналів) та подаються на вхідні синапси навченою НМ. Зазвичай, кожен вхідний параметр прикладу подається на один відповідний вхідний синапс. НМ виробляє задану кількість тактів функціонування, при цьому вектор вхідних сигналів поширюється по зв'язках між нейронами (пряме функціонування). Виміряються сигнали, видані тими нейронами, які вважаються вихідними. Далі здійснюється інтерпретація виданих сигналів, і обчислюється оцінка, яка характеризує відмінність між необхідними відповідями, які задані в прикладах та відповідями, які видані мережею. За допомогою відповідної функції оцінки обчислюється оцінка. Чим оцінка менша, тим ближче відповідь видана мережею до необхідної і, відповідно, тим краще розпізнаний приклад. Максимальна оцінка, це оцінка, що дорівнює нулю, вона означає потрібної відповідності між відомою і обчисленою відповідями досягнуто і можна завершувати обчислення. Потрібно взяти до уваги, що нова НМ, яка тільки що ініціалізована (ще не навчена), може видати правильну відповідь тільки абсолютно випадково. Тільки якщо оцінка прикладу дорівнює нулю, нічого не відбувається, оскільки це означає абсолютну відповідність, в іншому випадку на підставі поточної оцінки обчислюються поправочні коефіцієнти для кожної синаптичної ваги матриці зв'язків, після чого проводиться підстроювання синаптичних ваг (зворотне функціонування), суть навчання і полягає в корекції ваг синапсів. Здійснюється перехід до такого прикладу навчальної вибірки і перераховані вище операції повторюються.

Одним циклом навчання вважається прохід з першого по останній по всіх прикладах навчальної вибірки. При проходженні циклу кожен приклад оцінюється окремо. Обчислюється, крім того, сумарна оцінка безлічі всіх прикладів навчальної вибірки. Для того, щоб навчання вважалось закінченим, потрібно, щоб після проходження декількох циклів оцінка дорівнювала нулю, в іншому випадку цикли повторюються. Кількість циклів навчання, також як і час, потрібний для повного навчання, залежать від таких чинників, як величини навчальної вибірки, кількості вхідних параметрів, виду завдання, типу і

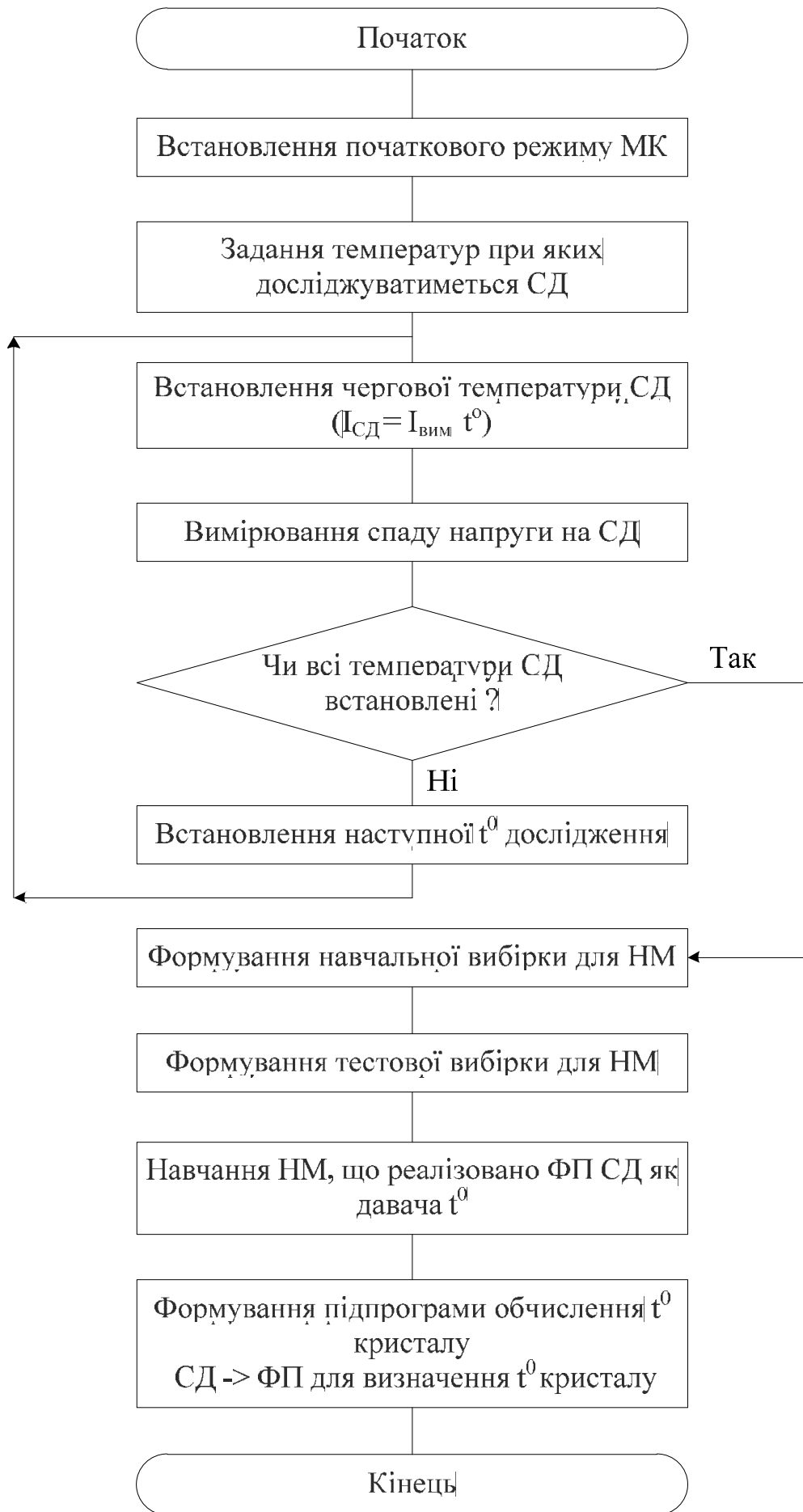


Рисунок 3.1 – Алгоритм дослідження світлодіода як давача температури

параметрів НМ і також від випадкового розкладу ваг синапсів при ініціалізації мережі.

Далі, на кінцевому етапі, відбувається формування підпрограми обчислення t^0 кристалу СД за допомогою ФП для визначення t^0 кристалу.

3.2 Узагальнений алгоритм дослідження світлодіодних джерел світла

В даному підрозділі розроблено та описано узагальнений алгоритм дослідження світлодіодних джерел світла. Даний алгоритм зображений на рисунках 3.2, 3.3.

На початковому етапі відбувається ініціалізація режимів роботи вузлів МК в програмі пристрою керування експериментами дослідження (в МК). Ініціалізуються всі потрібні змінні, константи, задаються всі потрібні параметри для кількості потужності і струму, що регулюються регулятором 1 і регулятором 2, всі ці дані формують режим роботи вузлів МК.

На наступному етапі дослідження по отриманим даним з пристрої керування експериментами дослідження в блоці задання режиму формуються режими, які можна буде пізніше без проблем переключати, після того, як режими вже сформувалися, відбувається введення (передача далі) даних для подальшого налаштування наступних компонентів та безпосередньо проведення самого експерименту.

Для того, щоб всі параметри правильно вимірялися, потрібно встановити досліджуваний СД під правильним кутом, що і відбувається в наступному етапі роботи алгоритму.

Далі відбувається ввімкнення джерела струму, та подається потрібна кількість струму до досліджуваного СД (конкретно потрібна кількість струму регулюється регулятором, який в свою чергу через ЦАП та АЦП пристрої отримує вказівки від пристрою керування експериментами дослідження та

пропускає, задіявши задані налаштування, потрібну кількість струму відповідно).

В наступному етапі відбувається встановлення потрібної, заданої температури СД. Якщо вони співпадають, то ніяких дій поки не відбувається, якщо температура СД більша заданої, то потрібно почекати, поки СД охолонуть до потрібної або нижчої температури, якщо ж температура СД менша заданої, то в дію вступає нагрівник, який підігріє СД до потрібної для початку проведення експериментів температури.

Далі, в подальшому етапі, вимірюється струм КЗ ФД, щоб в одному з наступних етапів виміряти освітленість.

В наступному етапі здійснюється процес відсікання світлового потоку від ФД за допомогою спеціальної шторки. Ця шторка інтегрована в корпус засобу таким чином, щоб при потребі можна було б відсікти світловий потік, що поступає на ФД.

На наступному етапі, після того, як світловий потік відсікли за допомогою шторки, потрібно виміряти спад напруги на ФД.

Наступний етап являє собою потребу виміряти струм ФД.

Потім відбувається вимкнення струму СД, для того, щоб мати змогу продовжувати експеримент.

Наступними діями в подальшому етапі є вимірювання спаду напруги на СД, який утворився внаслідок вимкнення струму СД.

Далі йдуть завершальні етапи алгоритму, а саме, відбувається обчислення температури кристалу ФД.

Потім відбувається обчислення освітленості із використанням даних, які вимірювалися на попередніх етапах – це $I_{КЗ}$ та температура ФД. На основі цих даних виконується дане обчислення.

Також, виконується обчислення температури кристалу СД, яка визначається з використанням ФП, що реалізована на основі НМ. Алгоритм даного обчислення описаний в попередньому підрозділі.

Ну і фінальним етапом роботи алгоритму є запам'ятовування результатів обчислення у табличній моделі.

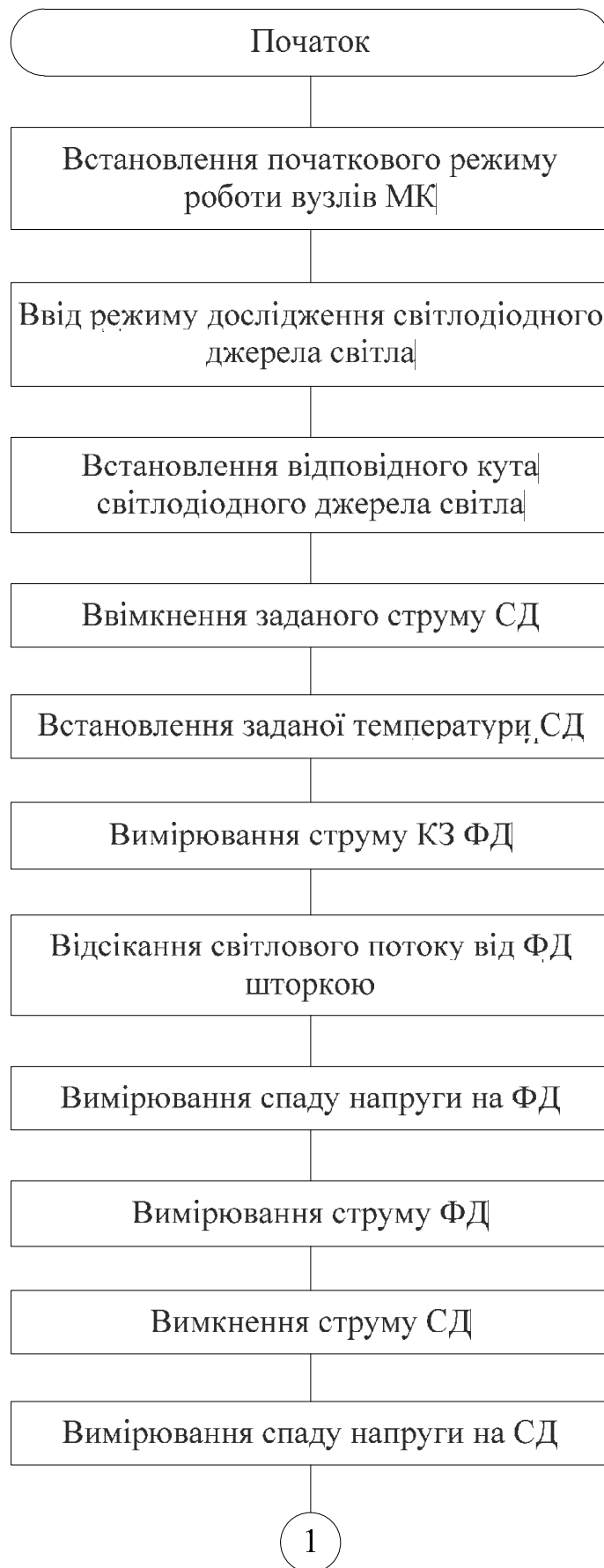


Рисунок 3.2 – Узагальнений алгоритм дослідження світлодіодних джерел світла

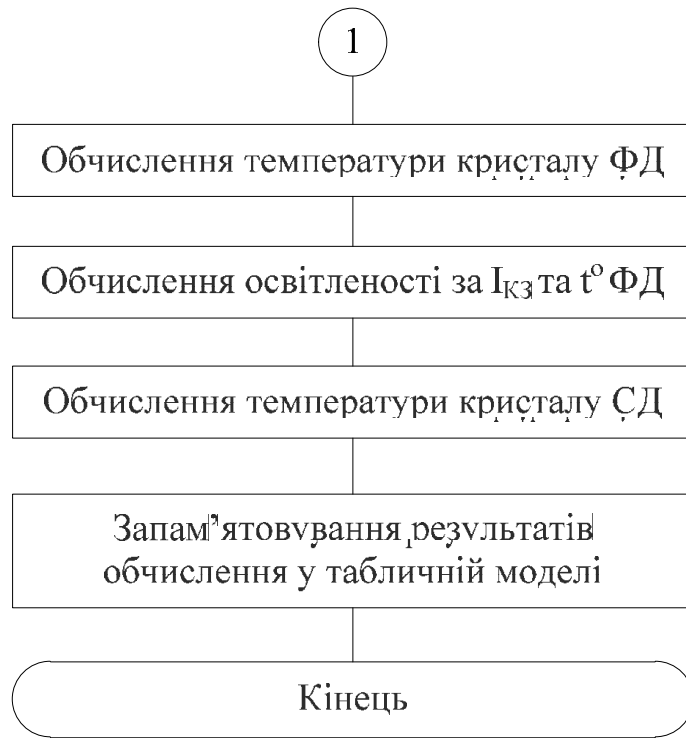


Рисунок 3.3 – Узагальнений алгоритм дослідження світлодіодних джерел світла

В результаті кожного експерименту відбувається запам'ятовування результатів в табличну модель, проте, завершеною вона буде тільки після внесення в неї результатів останнього експерименту. Дана таблична модель формується також за участю пристрою керування експериментами дослідження.

На рисунку 3.4 зображені у вигляді структурної схеми блоки, та зв'язки між ними, які і формують табличну модель, що є фінальним результатом всього дослідження.

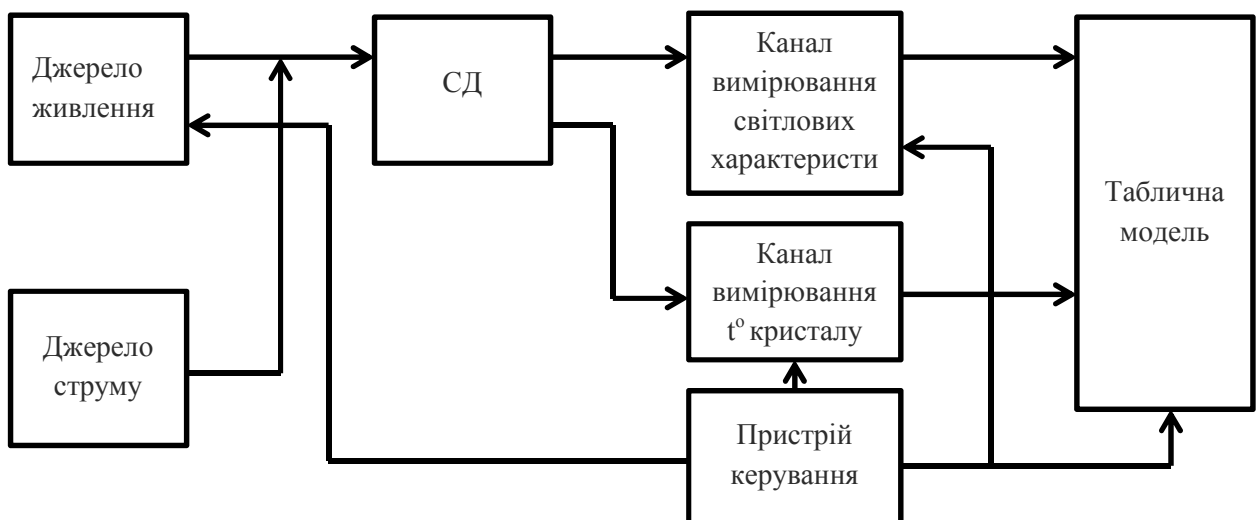


Рисунок 3.4 – Структурна схема дослідження світлодіодних джерел світла

На даній структурній схемі показано, що пристрій керування здійснює вплив на роботу джерела живлення, каналу вимірювання температури кристалу, каналу вимірювання світлових характеристик та табличну модель для правильного їх функціонування та проведення всіх потрібних експериментів. Після всіх налаштувань та подачі живлення на світло діод, в каналах вимірювання температури кристалу та вимірювання світлових характеристик відповідно відбуваються відповідні вимірювання та подальша передача результатів вимірювання в табличну модель для запам'ятовування та формування кінцевого результату дослідження.

3.3 Алгоритм регулювання температури

Розроблений згідно узагальненого алгоритму функціонування [49], описаного у підрозділі 3.1, детальний алгоритм роботи модуля керування температурою термостата поданий на рисунку 3.5.

Першим кроком встановлюємо початкові налаштування МК, зокрема, задаємо максимально можливе число повторів імпульсів широтно-імпульсного модулятора N максимум (тобто встановлюємо період імпульсів широтно-імпульсного модулятора), а також початкове число імпульсів широтно-імпульсного модулятора N_i початкове та, як різницю, число імпульсів, що не формується, тобто паузу. Подальші блоки формують імпульси та паузу.

У кінці основної частини алгоритму (рисунок 3.5) проводиться перевірка чи не було натиснуто якусь із кнопок встановлення нового значення потужності нагрівача. Якщо кнопки натиснуто не було, алгоритм зациклюється. Якщо була натиснута якась із кнопок, то алгоритм переводить модуль у один із режимів керування – збільшення (рисунок 3.6) або зменшення (рисунок 3.7) потужності нагрівача. Частини алгоритмів, подані на рисунках 3.6 і 3.7 мають незначні відмінності.

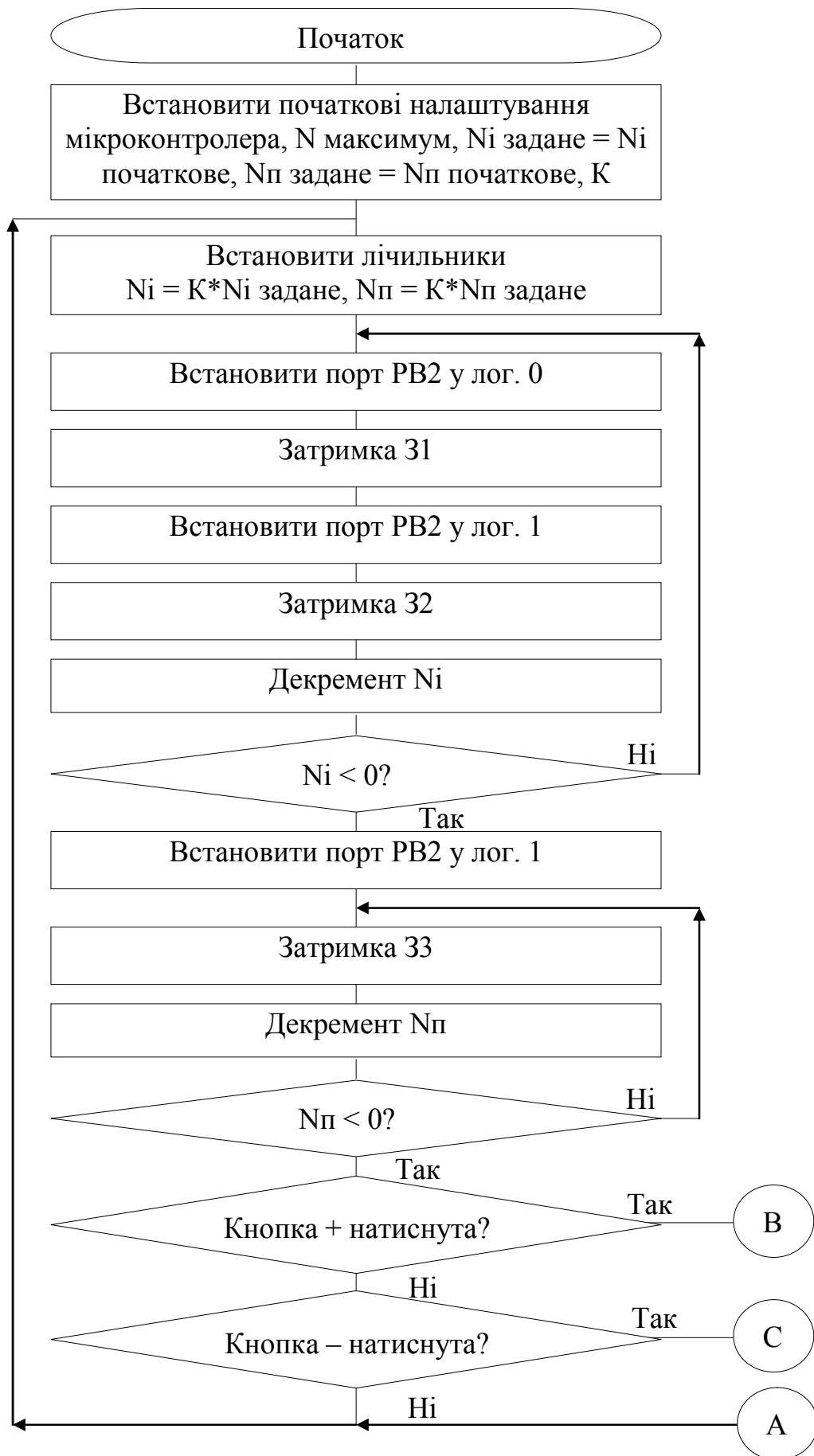


Рисунок 3.5. Детальний алгоритм керування температурою

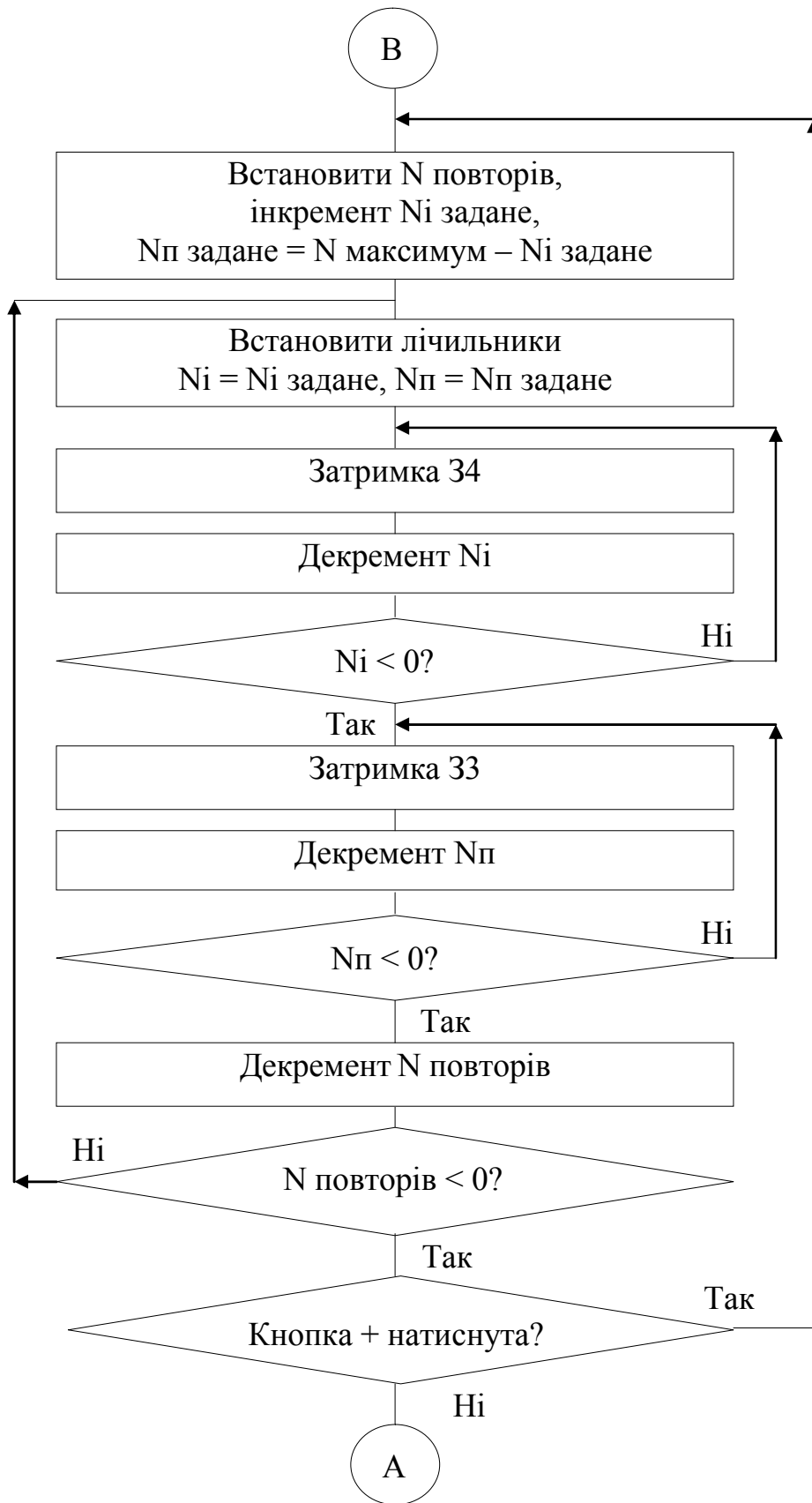


Рисунок 3.6. Детальний алгоритм керування температурою

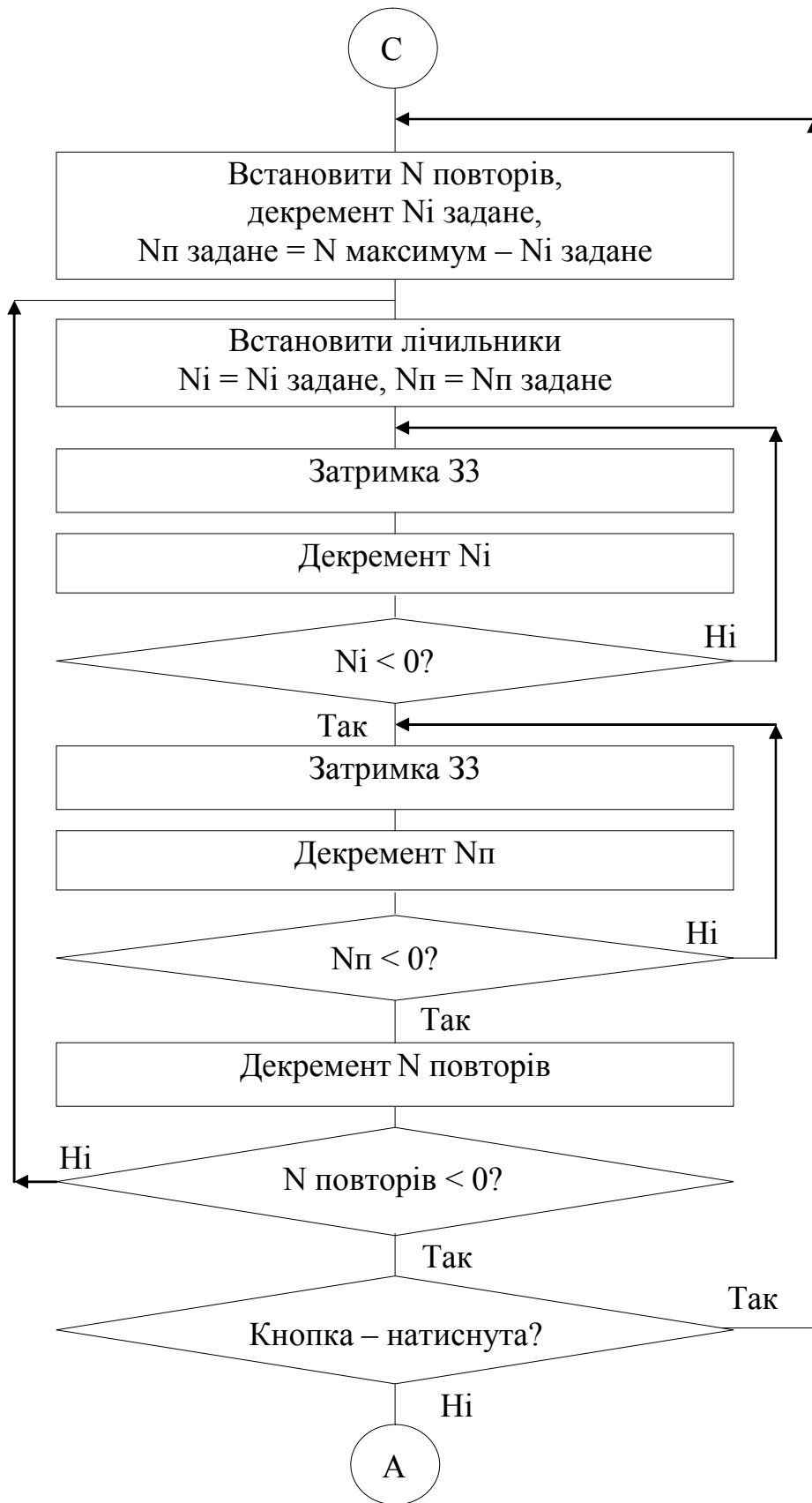


Рисунок 3.7. Детальний алгоритм керування температурою

У першому випадку кількість формованих імпульсів збільшується (проводиться інкремент N_i), а у другому – зменшується (проводиться декремент N_i). При цьому період роботи широтно-імпульсного модулятора зменшується у K разів, а формовані ним імпульси поступають на вихід РВ1 (термістор або семістор залишається закритим). За кожним циклом роботи проводиться інкремент або декремент N_i . Процес налаштування продовжується поки натиснута якась із кнопок. Коли обидві кнопки відпущено, алгоритм повертається до формування імпульсів запалювання семістора. Поточний стан програмного лічильника формованої кількості імпульсів відображається на світлодіодному індикаторі.

Існують кілька способів вводу аналогових сигналів в цифрову систему. Одним з них є формування та передавання широтно-модульованих імпульсів по аналоговому сигналу та вимірювання їх тривалості мікропроцесорним пристроєм. Безсумнівними перевагами такого підходу є:

- простота і дешевизна схемотехнічної реалізації, особливо у випадку, коли використовується мікроконтролер без вбудованого АЦП;

- можливість передачі ШІМ-сигналу на значну відстань без істотних спотворень (тобто частота низька, а крутизна фронтів легко забезпечена тригерами Шмітта); це зручно у випадку, якщо мікропроцесорний регулятор неможливо розмістити близько від датчика аналогового сигналу;

- наявність у складі практично будь-яких мікроконтролерів (МК) засобів вимірювання інтервалів часу - таймерів.

Принцип перетворення аналогового сигналу в послідовність ШІМ-імпульсів можна побачити на рисунку 3.8.

Позначення G_p відповідає генератору пилкоподібних (трикутних) імпульсів, які задають період ШІМ-сигналів, що подаються на МК.

Якщо тривалість активної фази ШІМ-імпульсу в кожному періоді $T_{ш\text{ім}}$ позначити як τ , то можна записати наступні залежності:

- зв'язок тривалості імпульсу та рівня сигналу з датчика (формула 3.1):

$$\tau(t) = K_{ш\text{ім}} \cdot U_d(t) \quad (3.1)$$

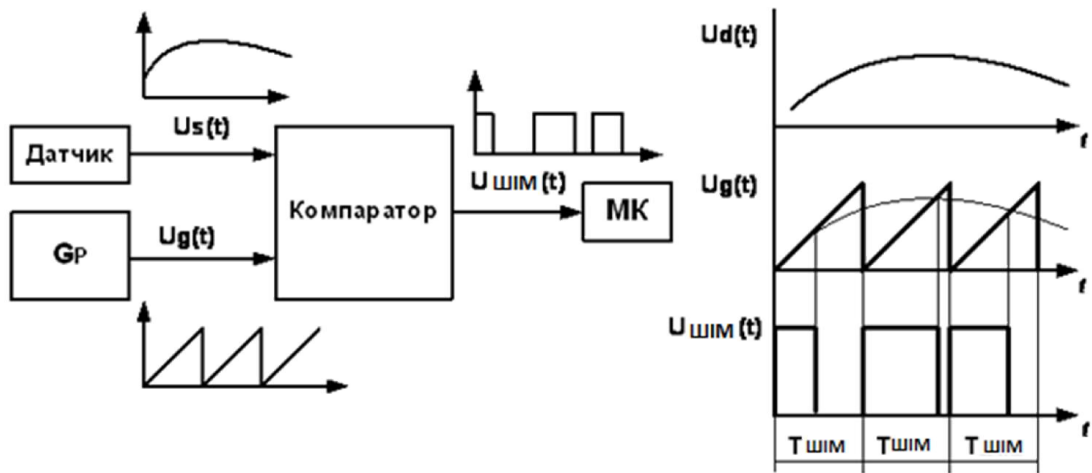


Рисунок 3.8 – Принципи формування вхідних ШІМ-імпульсів для МК

– визначення коефіцієнта широтно-імпульсної модуляції (формула 3.2):

$$K_{ш\text{им}} = \frac{T_{ш\text{им}}}{U_{g\text{max}}}, \quad (3.2)$$

де $T_{ш\text{им}}$ – період широтно-модульованого імпульсу,

$U_d(t)$ – величина сигналу,

$U_{g\text{max}}$ – напруга генератора пилкоподібної напруги.

$U_d(t)$ – величина сигналу,

$U_{g\text{max}}$ – напруга генератора пилкоподібної напруги.

Найпростіша схема формувачів ШІМ-імпульсів на операційних підсилювачах (ОП) представлена на рисунку 3.9. До його складу додатково добавлений узгоджуючий пристрій для приведення величини сигналу $U_d(t)$ до діапазону напруги генератора пилкоподібної напруги $U_g(t)$, тобто $U_{g\text{max}}$.

У даній схемі імпульси формуються без вертикального спаду, однак це не змінює принципів формування ШІМ.

Період сформованих імпульсів визначається співвідношенням 3.3:

$$T_{ш\text{им}} = 2R_4C_1 \ln\left(1 + 2\frac{R_5}{R_6}\right) \quad (3.3)$$

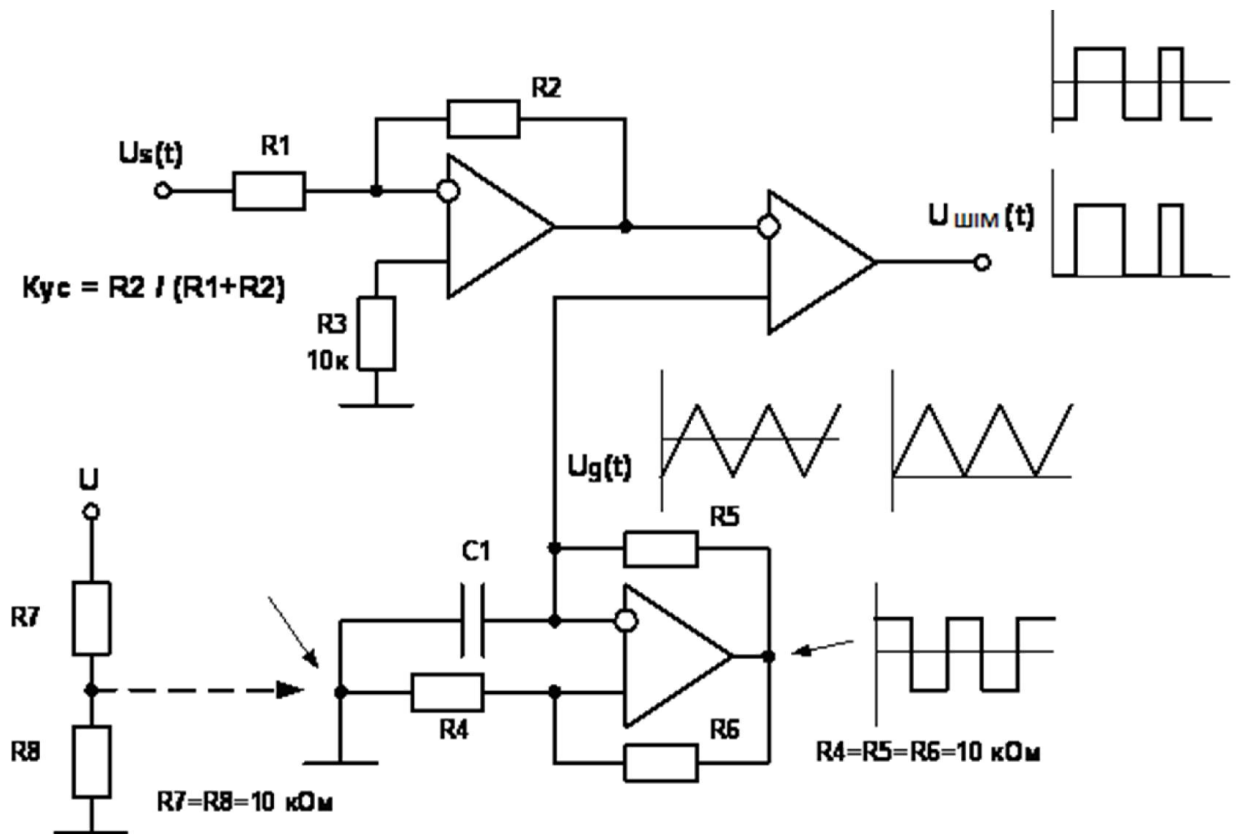


Рисунок 3.9 – Схема формувача ШІМ-імпульсів з вхідного аналогового сигналу

Бажано підбирати співвідношення U_s до U_{gmax} таким чином, щоб забезпечити U_{smax} .

Для гарантованого виконання процедури обробки переривання від таймера МК, на якому виконується вимірювання тривалості вхідних ШІМ-імпульсів, необхідне виконання умови (формула 3.4):

$$\Delta t = |T_{ШИМ} - \tau_{max}|, \quad (3.4)$$

де $\tau(t) = K_{шим} \cdot U_{Smax}$

При виборі принципів вимірювання тривалості ШІМ-імпульсів мають бути враховані такі фактори:

- можливість реєстрування ШІМ-імпульсів апаратними засобами мікроконтролера (переривання, таймери);
- мінімізація програмних дій з обробки ШІМ-імпульсів.

Можна запропонувати кілька варіантів прийому та вимірювання тривалості вхідних ШІМ-імпульсів. У будь-якому з варіантів потрібно вимірювати тривалість

імпульсу в певних одиницях часу T_i , тому апаратним засобом буде таймер (рисунок 3.10).

Даний підхід заснований на програмному опитуванні рівня сигналу на входній лінії мікроконтролера, на яку надходять ШІМ-імпульси. Коли програмно фіксується високий (активний) рівень ШІМ-сигналу, включається пристрій вимірювання - таймер. При програмній фіксації низького рівня - завершення активної фази імпульсу - таймер вимикається і зчитується значення тривалості імпульсу в одиницях T_i .

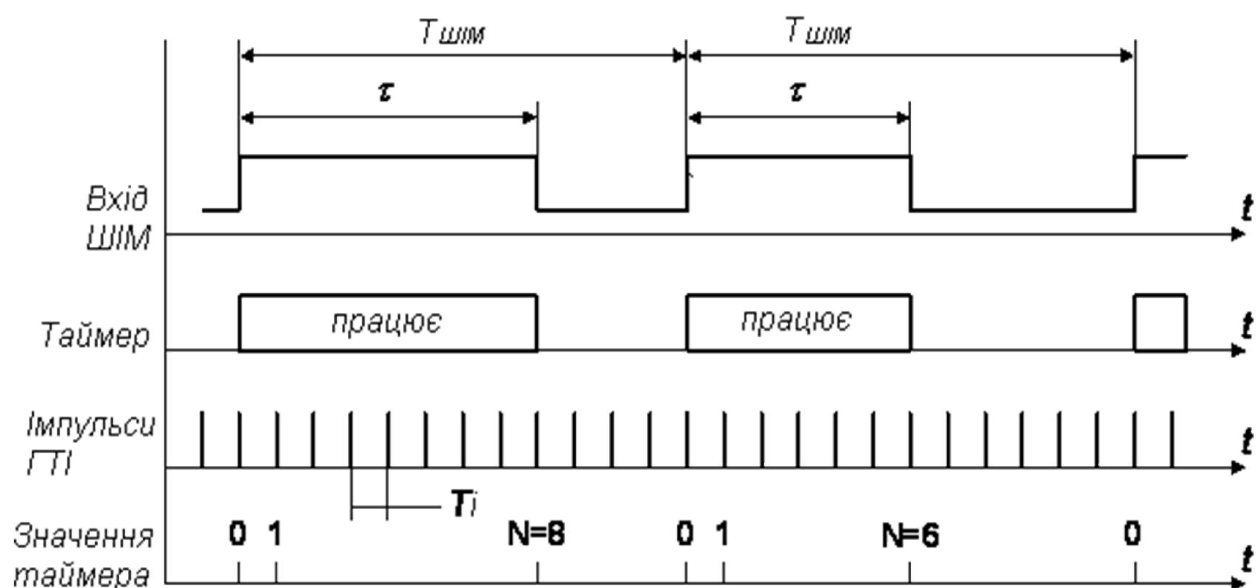


Рисунок 3.10 – Вимірювання тривалості ШІМ-імпульсів

Даний підхід заснований на програмному опитуванні рівня сигналу на входній лінії мікроконтролера, на яку надходять ШІМ-імпульси. Коли програмно фіксується високий (активний) рівень ШІМ-сигналу, включається пристрій вимірювання - таймер. При програмній фіксації низького рівня - завершення активної фази імпульсу - таймер вимикається і зчитується значення тривалості імпульсу в одиницях T_i .

Зафіксована послідовність ШІМ-імпульсів може подаватися на будь-який вхід мікроконтролера, який можна програмно перевірити - наприклад, P1.0. Вимірювання проводяться циклічно. Оскільки, зазвичай, крім вимірювання тривалості імпульсів необхідно проводити деякі обчислення, то повернення до

чергового вимірювання може попасти на середину активної фази поточного імпульсу. Тому в програмі потрібно забезпечити включення таймера саме з початку активної фази імпульсу.

При роботі ШІМ - перетворювачів повністю виключити ймовірність поломки неможливо. Складність конструкції при цьому не має значення. Несправності мають різну природу - деякі з них можна виявити на око, а для виявлення інших потрібне спеціальне вимірювальне обладнання.

Перед тим як перевірити ШІМ-контролер безпосередньо, можна розглянути найпоширеніші випадки поломок. Наприклад:

- контролер глухне після старту - обрив петлі ОС, перепад по току, проблеми з конденсатором на виході фільтра (якщо такий є), драйвером-можливо, розладалося управління ШІМ-контролером. Треба оглянути пристрій на предмет відколів і деформацій, заміряти показники навантаження і порівняти їх з типовими.
- ШІМ - контролер НЕ стартує - відсутня одна з вхідних напруг або пристрій несправний. Може допомогти огляд і завмер вихідної напруги, в крайньому випадку, заміна на свідомо робочий аналог.
- Напруга на виході відрізняється від номінального - проблеми з петлею ООС або з контролером.
- Після старту ШІМ на БП йде в захист при відсутності КЗ на ключах - некоректна робота ШІМ або драйверів.
- Нестабільна робота плати, наявність дивних звуків - обрив петлі ООС або ланцюжка RC, деградація ємності фільтра.

Таким чином, у даному підрозділі розроблено алгоритм роботи модуля керування температурою об'єктів малої потужності.

3.4 Алгоритм вимірювання світлових параметрів та температури

Алгоритм вимірювання світлових параметрів [50] приведено на рисунку 3.11. У ньому передбачено встановлення світлодіодного джерела світла у гоніофотометричній установці, закріплення і підключення до нього джерел робочого струму та напруги, яка формує струм світлодіода при вимірюванні його температури. Після цього необхідно ввімкнути світлодіодне джерело світла та витримати час, необхідний для встановлення його робочого режиму як за світловими параметрами так і за тепловими.

Тривалість витримки є індивідуальною для кожного типу світлодіодного джерела світла.

Далі передбачено вимірювання світлових параметрів світлодіодного джерела світла у потрібних положеннях. При цьому не повинні змінюватися робочий струм світлодіода та умови його охолодження, інакше, похибка вимірювання температури може різко зрости (нова температура кристалу світлодіода буде відноситися до останнього значення робочого струму або умов охолодження під час останнього дослідження).

Після закінчення вимірювання світлових параметрів приступають до вимірювання температури кристалу. Для цього вимикають робочий струм світлодіода та усувають вплив на нього інших джерел світла (закривають світлонепроникним ковпаком). Ці операції повинні бути виконані протягом, приблизно, однієї секунди, інакше кристал світлодіода занадто остине. Тому, після вимикання робочого струму та світло ізоляції світлодіода, одразу вимірюють спад напруги на світлодіоді, а потім – струм через нього.

Результати вимірювання подають на вхід нейронної мережі, навченої під час ідентифікації індивідуальної функції перетворення світлодіода як давача температури, яка обчислює значення температури кристала світлодіода. Результати вимірювання робочого струму, світлових параметрів світлодіодного джерела світла та температури кристалу світлодіода записують у таблицю.

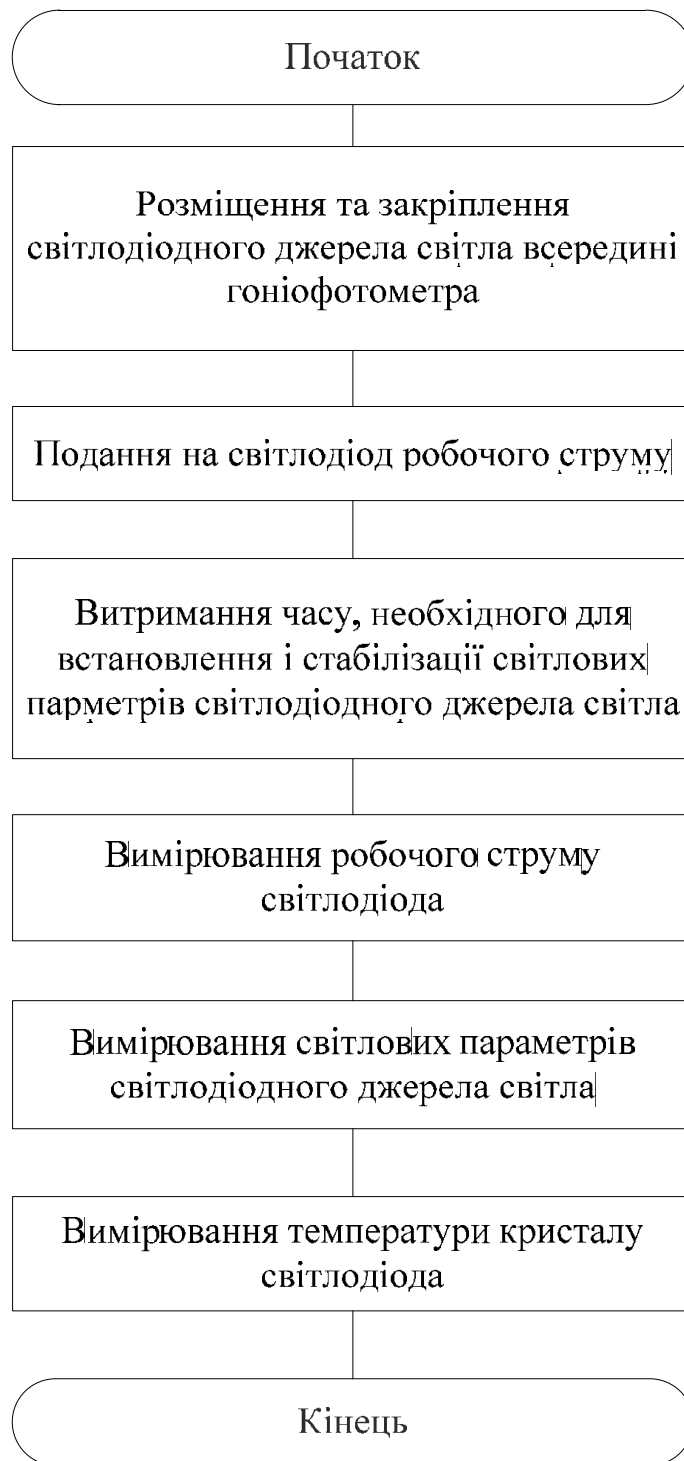


Рисунок 3.11 – Алгоритм вимірювання світлових параметрів світлодіодного джерела світла

Ця таблиця, при умові проведення всіх експериментальних досліджень, є базою для побудови математичної моделі світлодіодного джерела світла.

Алгоритм обчислення значення температури за результатами вимірювання спадів напруги на мідному термометрі опору подано на рисунку 3.12.

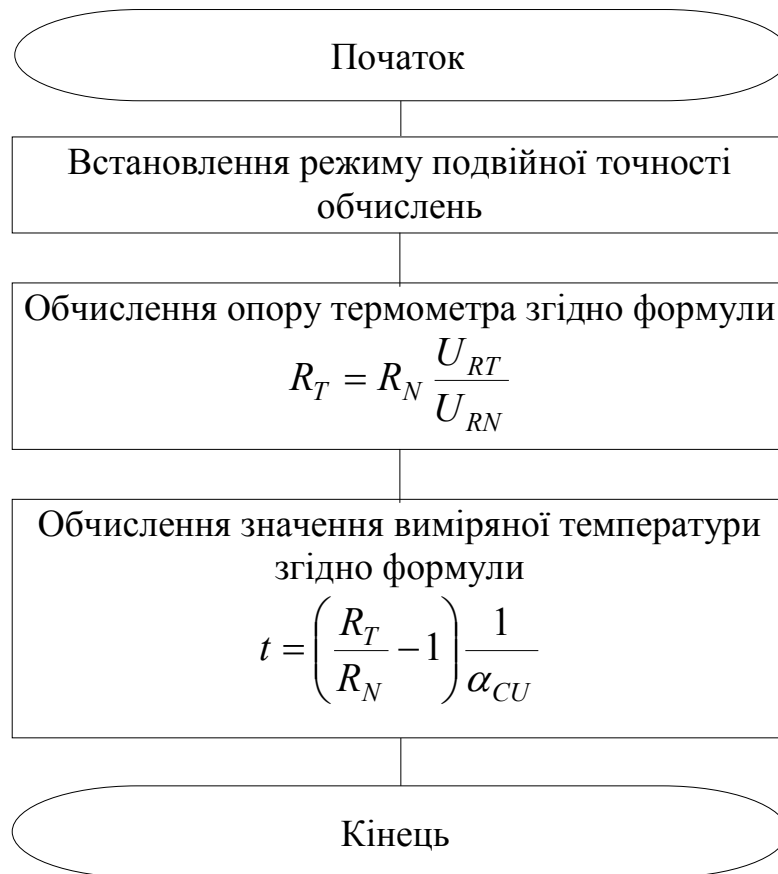


Рисунок 3.12 – Алгоритм обчислення значення температури за результатами вимірювання спадів напруги на мідному термометрі опору

Він передбачає використання бібліотеки виконання математичних обчислень з подвійною розрядністю – 16 біт. Інакше доволі низька чутливість мідного термометра опору – 0,426 %/°C – приведе до значної, декілька градусів, похибки обчислення. Далі, за відповідними формулами обчислюють спочатку опір термометра, а потім – вимірну температуру.

Відповідно до методики досліджень світлодіодних джерел світла, описаної у підрозділі 2.1, розроблено алгоритм вимірювання світлових параметрів світлодіодного джерела світла. Даний алгоритм представлений на рисунку 3.11.

ВИСНОВКИ

В результаті виконання магістерської дипломної роботи отримано наступні висновки:

1. Проведений аналіз світлодіодів як джерел світла дав змогу зробити висновок про перспективність їх використання як джерел світла за коефіцієнтом корисної дії та довговічністю. Відносно висока вартість світлодіодів компенсується їх перевагами.

2. Проведений аналіз методів і засобів дослідження світлодіодних джерел світла дозволив зробити висновок про те, що одна з важливих впливаючих на напівпровідники величин практично не враховується – температура світлодіода. Врахування температури оточуючого середовища при проведенні експериментальних досліджень світлодіодних джерел світла не дає змогу будувати достатньо точно їх математичні моделі через те, що температура кристалу світлодіода залишається невідомою.

3. Проведений аналіз показав, що температура кристалу світлодіода може значно відрізнятися від температури оточуючого середовища через наявність невідомих градієнтів температури між кристалом світлодіода і його корпусом, між корпусом світлодіода і його радіатором, між радіатором і оточуючим середовищем.

4. Запропоновано підхід до світлодіода як до багатопараметричного об'єкту вимірювання, який передбачає вимірювання температури кристалу світлодіода безпосередньо після вимірювання його світлових параметрів. При цьому, як датчик температури кристалу світлодіода повинен служити сам світлодіод.

5. Для використання світлодіода як датчика температури запропоновано перед вимірюванням світлових параметрів світлодіодних джерел світла проводити ідентифікацію індивідуальної функції перетворення як датчика температури.

6. Для ідентифікації індивідуальної функції перетворення як давача температури розроблено відповідну методику і структурні схеми наступних апаратних засобів:

- 1) вузол регулювання температури;
- 2) вузол задання струмів через світлодіод;
- 3) вузол вимірювання температури в термостаті;
- 4) вузол комутатора;
- 5) перехідні каскади для інтерфейсу RS232.

7. Як показав аналіз, розроблені апаратні засоби дадуть змогу отримати результати експериментальних досліджень з високою точністю, що, в свою чергу, дозволить будувати математичні моделі світлодіодних джерел світла значно точніші за існуючі. Як показав аналіз, розроблені алгоритми дають змогу коригувати похибки розроблених апаратних засобів і обробляти результати вимірювання світлових параметрів та температури кристала світлодіода.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Фотометрия светодиодов. / Г. Заутер, М. Линдемманн, А. Шперлинг, И. Оно – Светотехника, 2004, №3, С. 5-11.
2. ГОСТ 17616 – 82. Лампы электрические. Методы измерения электрических и световых параметров. – М. :Издательство стандартов. 1982. – 50 с.
3. Основы электроники. Учебное пособие для вузов / А. Л. Марченко – М.: ДМК Пресс, 2008. – 296 с.
4. Методи і засоби підвищення точності інформаційно-вимірювальних систем ультрафіолетового випромінювання [Текст] : дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук : спец. 05.13.05 - комп'ютерні системи та компоненти / О. Ю. Рощупкін. – Тернопіль : ТНЕУ, 2015. – 217 с.
5. Что такое «Свет Лосева» или кто изобрел светодиод. [Электронный ресурс] / Режим доступа: http://www.lucendi.ru/ledswords/svet_loseva.html
6. Світлодіод. [Электронный ресурс] - Режим доступа: <http://www.sheft.com.ua/ua/statti/107/>
7. Світлодіод. [Электронный ресурс] - Режим доступа: <http://www.znaimo.com.ua/%D0%A1%D0%B2%D1%96%D1%82%D0%BB%D0%BE%D0%B4%D1%96%D0%BE%D0%B4>
8. Світлодіоди запитання й відповіді . ТОВ Рапис. [Электронный ресурс] - Режим доступа: <http://www.svitlodiody.com/svitlodiodi-zapitannya-j-vidpovidi-tov-rapis/>
9. Світлодіоди: характеристики, маркування та види. [Электронный ресурс] - Режим доступа: <http://www.poradumo.com.ua/46234-svitlodiodi-harakteristiki-markyvannia-ta-vidi/>
10. Усе про світлодіоди. [Электронный ресурс] - Режим доступа: http://www.elektrovary.te.ua/index.php?route=information/news&news_id=6
11. Історія створення твердотільних джерел світла або LED освітлення. [Электронный ресурс] - Режим доступа: <http://www.ok-led.com.ua/istoriya-stvorenniya-tverdopilnih-dzherel-svitla-abo-led-osvitlennya/>

12. Технологии изготовления, достоинства и недостатки твердотельных источников белого света – светодиодов. [Электронный ресурс] - Режим доступа: <http://www.mandarin.kharkov.ua/articles/486/>
13. Використання світлодіодних ламп для енергозбереження. [Електронний ресурс] - Режим доступа: <http://www.bibliofond.ru/view.aspx?id=803407>
14. Светодиоды: характеристики, маркирования та види. [Электронный ресурс] - Режим доступа: <http://www.poradi.ru/budinok-i-rodina/12685-svitlodiodi-harakteristiki-markuvannja-ta-vidi.html>
15. Що таке LED? [Электронный ресурс] - Режим доступа: <http://www.svitlodiody.com/shho-take-led/>
16. Комп'ютеризована гоніофотометрична установка. IV науково-технічна конференція. / Р. Б. Трембач, І. Р. Паздрій, Б. Трембач, Я. Банах, В. Б. Матіяш – Тернопіль: Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, 2014. – с. 26.
17. Система гониофотометрическая GO-H 1400. [Электронный ресурс] - Режим доступа: <http://www.all-pribors.ru/opisanie/52984-13-go-h-1400-56382>
18. Енергозберігаюче освітлення від фірми «ШРЕДЕР». [Электронный ресурс] - Режим доступа: <http://www.investukr.com.ua/get-news/369/>
19. Розробка установки для вимірювання кутового розподілу розсіяного випромінювання напрям: 0911 – Лазерна та оптоелектронна техніка Спеціальність. [Электронный ресурс] / Режим доступа: <http://www.lib.exdat.com/docs/912/index-3293-11.html>
20. Documents & Installation Guides. [Электронный ресурс] - Режим доступа: http://www.gelighting.com/LightingWeb/emea/resources/document-library/index.jsp#q=*&fq=&sortParam=date desc&p=1&pageSize=15
21. Bildungsmarkt vulkan gmbh. [Электронный ресурс] - Режим доступа: <http://www.bildungsmarkt.de/ueber-uns/bildungsmarkt-vulkan-gmbh/>
22. Демонстрационно-лабораторный гониофотометр. [Электронный ресурс] - Режим доступа: <http://www.en.kgeu.ru/Home/Page/241?idShablonMenu=236>

23. Закон обратных квадратов. [Электронный ресурс] - Режим доступа: <http://www.mash-xxl.info/info/368638/>
24. Джерела світла. [Электронный ресурс] - Режим доступа: <http://www.megasite.in.ua/85637-dzherela-svitla.html>
25. GO-R5000 full-field speed goniophotometer. [Электронный ресурс] - Режим доступа: <http://www.everfine.net/productinfo.php?pid=69&fid=8>
26. Производитель HP880 светодиодный мини гониофотометра для небольших светодиодных ламп. [Электронный ресурс] - Режим доступа: <https://www.russian.alibaba.com/product-detail/manufacture-hp880-led-mini-goniophotometer-for-small-led-lamps-distribution-test-60087176549.html?s=p>
27. Установка для измерений силы света, пространственного распределения и цветовых характеристик светящихся объектов Гониофотометр X-RITE. [Электронный ресурс] - Режим доступа: <http://www.all-pribors.ru/opisanie/44305-10-goniofotometr-x-rite-46588>
28. Reducing the Calibration Points of Multisensors. // Proceedings of the 9th IEEE International Multi-Conference on Systems, Signals and Devices (SSD'2012). / O. Roshchupkin, R. Smid, V. Kochan, A. Sachenko. – Chemnitz (Germany), March 20 - 23, 2012. – Digital Object Identifier : 10.1109/SSD.2012.6197987., Pp. 1-6.
29. Нейромережевий метод ідентифікації характеристики перетворення мультисенсора. Науковий вісник ЧНУ. Том №2, випуск №3. Комп'ютерні системи та компоненти. / І. В. Турченко, О. Ю. Рошчупкін, В. В. Кочан. - Чернівці: ЧНУ 2011. – С. 36-41.
30. Патент України на винахід № 103802. Зареєстровано 25.11.2013. Заявка № а201113840; Заявлено 24.11.2011. Спосіб ідентифікації індивідуальної функції перетворення багатопараметричного сенсора. / О. Ю. Рошчупкін, В. В. Кочан, А. О. Саченко.
31. An Introduction to Neural Networks. / B. Kroese – Amsterdam: University of Amsterdam, 1996. – 120 P.
32. Справочник по теории автоматического управления. / А. А. Красовський - М.: Наука. 1987. - 712 с.

33. Апаратна реалізація вводу аналогових сигналів на основі ШИМ. [Електронний ресурс] - Режим доступу: <http://www.microchipinf.com/articles/54/743>
34. Підвищення завадостійкості засобів вимірювання температури в промислових умовах: Автореф. дис. канд. техн. Наук. / Б. О. Масляк - Київ, 1994. – 16 с.
35. Интегральные микросхемы в радиоэлектронных устройствах. - 2-е изд., перераб. и доп. / И. Н. Мигулин, М. З. Чаповский - К.: Техніка, 1985. – 208 с.
36. Точность контактных методов измерения температуры. / А. Н. Гордов, Я. В. Малков, Н. Н. Эргардт, Н. А. Ярышев - М.:Изд-во стандартов, 1976. – 231 с.
37. Контактные датчики температуры / Р.В. Бычковский / Р. В. Бычковский – Москва: Металлургия, 1978. – 240 с.
38. Датчик температуры LM35. Документация на русском языке. Характеристики, применение. [Електронний ресурс] - Режим доступу: <http://www.mypractic.ru/datchik-temperature-lm35-dokumentaciya-na-russkom-yazyke-karakteristiki-primenenie.html>
39. ГОСТ 6651-94 . - [Чинний від 1999-01-01.]. – Минск: ИПК Издательство стандартов 1998. – 28 с.
40. Електричні вимірювання електричних та неелектричних величин / Під ред. Ї.С.Поліщука. – К.: Вища школа, 1978. – 352 с.
41. ADuC834 MicroConverter с 16/24-битным сигма-дельта АЦП и микропроцессорное ядро MCS-51 с 62 кБ FLASH памяти. [Електронний ресурс] - Режим доступу: http://catalog.gaw.ru/index.php?page=component_detail&id=16458
42. Реле герконовые РГК15. [Електронний ресурс] - Режим доступу: <http://www.asenergi.com/catalog/rele/rgk15.html>
43. Пат. 2004032136 Україна, МПК 7Н01Н51/00. Комутатор сигналів низького рівня: Р. В. Кочан., В. В. Кочан – Заявл. 23.03.2004.
44. Вдосконалення компонентів прецизійних розподілених інформаційно-вимірювальних систем: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук: спец. 05.11.16 “Інформаційно-вимірювальні системи” / Р. В. Кочан. – Львів, 2005. – 16 с.

45. Обзор стандарта RS-232. [Электронный ресурс] - Режим доступа: <http://www.gaw.ru/html.cgi/txt/interface/rs232/start.htm>
46. Патент 25609А України, МПК G06F 15/00. Двопровідна локальна обчислювальна мережа, повторювач сигналу та інвертор для використання в ній / В. В. Кочан, В. О. Тимчишин (Україна). - № 97105295; заявл. 30.10.97 ; видано 30.10.98.
47. Патент України на винахід № 103802. Зареєстровано 25.11.2013. Заявка № а201113840; Заявлено 24.11.2011. Спосіб ідентифікації індивідуальної функції перетворення багатопараметричного сенсора. / О. Ю. Рошупкін, В. В. Кочан, А. О. Саченко
48. ГОСТ Р 8.658-2009. Государственная система обеспечения единства измерений. Средства измерений характеристик ультрафиолетового излучения соляриев. Методика поверки. [Электронный ресурс] - Режим доступа: <http://www.internet-law.ru/gosts/gost/48794/>.
49. Алгоритмы. Построение и анализ. / Т. Кормен, Ч. Лейзерсон, Р. Ривест, К. Штайн - М.: Вильямс 2012. - 1296 с.
50. Основы современных алгоритмов. 2-е дополненное издание / Дж. Макконнелл - М.: Техносфера, 2004. - 368с.
51. Комп'ютеризована гоніофотометрична установка. IV науково-технічна конференція. / Р. Б. Трембач, І. Р. Паздрій, Б. Трембач, Я. Банах, В. Б. Матіяш // IV науково-технічна конференція „Інформаційні моделі, системи та технології” – Тернопіль: ТНТУ імені Івана Пулюя, 2014. – 71 с.
52. Алгоритми та засіб дослідження світлодіодних джерел світла [Текст] / Р. Б. Трембач, В. Б. Матіяш, І. В. Драбик // Сучасні комп'ютерні технології: Матеріали всеукраїнської школи-семінару. – Тернопіль: Видавництво ТНЕУ, 2016 - С. 11-13
53. Методичні рекомендації до виконання дипломної роботи з освітньо-кваліфікаційного рівня “Магістр”. Спеціальність „Комп'ютерні системи та мережі” / О. М. Березький, Л. О. Дубчак / Під ред. О. М. Березького – Тернопіль: ТНЕУ, 2013.– 47 с.