МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІНЖЕНЕРНИЙ НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ІНСТИТУТ
ім. Ю. М. Потебні

Кафедра електроніки, інформаційних систем
та програмного забезпечення
(повна назва кафедри)

Кваліфікаційна робота

перший(бакалаврський)
(рівень вищої освіти)

на тему *«Розробка регулятора освітлення на PIC контролері»*

Виконав: студент (ка) *4* курсу, групи *6.1763-с2*
спеціальності *153 (176) Мікро- та наносистемна техніка*
(код і назва спеціальності)
освітньої програми *Мікро- та наносистемна техніка*
(код і назва освітньої програми)
Луценко І.О.
(ініціали та прізвище)

Керівник *професор кафедри ЕІСПЗ, доцент, к.т.н. Ніконова З.А.*
(посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)

Рецензент *інженер-конструктор Конструкторського бюро Колосова Григор'єва І.К.*
(посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)

Запоріжжя
2026

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІНЖЕНЕРНИЙ НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ІНСТИТУТ
ім. Ю. М. Потебні

Кафедра електроніки, інформаційних систем та програмного забезпечення

Рівень вищої освіти перший (бакалаврський)
(перший (бакалаврський) рівень

Спеціальність 153 (176) Мікро- та наносистемна техніка
(назва)

Освітня програма Мікро- та наносистемна техніка
(шифр)

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри Т. В.Критська

«03» червня 2026 року

З А В Д А Н Н Я
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ БАКАЛАВРА ЗДОБУВУЧУ ВИЩОЇ ОСВІТИ

Луценко Івану Олександровичу
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема кваліфікаційної роботи *Розробка регулятора освітлення на PIC контролері*
керівник кваліфікаційної роботи бакалавра *Ніконова З.А., к.т.н.,доцент*
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)
затверджені наказом вищого навчального закладу від «*23» 12. 2025 р. № 1830-с*
2. Строк подання студентом кваліфікаційної роботи бакалавра *03.06.2026р.*
3. Вихідні дані до кваліфікаційної роботи бакалавра*: прилад для автоматичного керування електричною потужністю: симістор, мікроконтролер; незначні габаритні розміри; можливість регулювання; безтрансформаторне виконання.*
4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) *1 Аналіз проблеми енергозбереження в Україні та світі 2 Прилад для автоматичного регулювання світла на основі мікроконтролера* PIC10F200*. 3 Охорона праці та техногенна безпека*
5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень) *Л1 Структурна схема приладу автоматичного керування електричною потужністю Л2 Схема електрична принципова Л3 Топологія друкованої плати та алгоритм роботи міколклнтролера.*

6. Консультанти розділів кваліфікаційної роботи бакалавра

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата завдання прийняв
I	*Ніконова З.А.*	*27.02.2026*
II	*Ніконова З.А.*	*11.05.2026*
III	*Ніконова З.А.*	*30.05.2026*

7. Дата видачі завдання *20.10.2025р.*

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи бакалавра	строк виконання етапів кваліфікаційної роботи бакалавра	Примітка
1	*Аналіз літератури за темою кваліфікаційної роботи*	*03.11.25 - 30.12.25*	
2	*Написання першого розділу*	*05.01. -27.02.*	
3	*Розробка структурної схеми димера*	*28.02. -06.04.*	
5	*Розробка схеми електричної принципової , виконання розрахунків*	*07.04. -01.05.*	
6	*Розробка топології друкованої плати*	*02.05. -11.05.*	
7	*Розділ охорони праці та техногенної безпеки*	*13.05. -20.05.*	
8	*Оформлення пояснювальної записки, виконання креслень*	*21.05. -30.05.*	

студент _____ *Луценко І.О.*
(підпис) (прізвище та ініціали)

Керівник роботи (проекту) _____ *Ніконова З.А.*
(підпис) (прізвище та ініціали)

Нормоконтроль пройдено

Нормоконтролер _____ *Верьовкін Л. Л.*
(підпис) (прізвище та ініціали)

РЕФЕРАТ

Кваліфікаційна робота містить 62 сторінки, 11 рисунків, 7 таблиць, 20 джерел літератури.

Об’єкт дослідження – прилади керування електричною потужністю

Мета роботи –розробка приладу для автоматичного регулювання світла на основі мікроконтролера.

Задачі роботи: розробити структурну схему приладу; зробити вибір та розрахунок елементної бази; написати програму для мікроконтролера; розробити схему електричну принципову та топологію друкованої плати приладу; виконати розрахунок надійності.

Методика досліджень – написання програми для мікроконтролера на мові PIC BASIC, розрахунки в MATLAB, Exel, розробка топології печатної плати за допомогою Sprint Layout.

Короткий виклад результатів досліджень – розроблений прилад є ефективним мікроконтролерним регулятором потужності, що використовує фазове керування симістором. Він поєднує в собі простоту реалізації, відсутність трансформатора живлення та можливість гнучкого керування навантаженням. Розраховані габаритні розміри складають 80 × 60 мм.

Прогнозні пропозиції – запропонований прилад може використовуватися як в побуті так і на виробництві для регулювання рівня освітленості на робочому місці.

СИМІСТОР, МІКРОКОНТРОЛЕР, ДИМЕР, ФАЗОВЕ КЕРУВАННЯ, СВІТЛО, СХЕМА, ТОПОЛОГІЯ

Кваліфікаційна робота виконана на кафедрі електроніки, інформаційних систем та програмного забезпечення в період з 03.11.2025 по 29.05.2026 р.

Зміст

ВСТУП 5
1 АНАЛІЗ ПРОБЛЕМИ ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ В УКРАЇНІ ТА СВІТІ 6
1.1 Глобальні тенденції 6
1.2 Енергозбереження в Україні 7
1.3 «Зелена» енергетика 9
1.4 Пристрої керування електричною потужністю 16
2 ПРИЛАД ДЛЯ АВТОМАТИЧНОГО РЕГУЛЮВАННЯ СВІТЛА НА ОСНОВІ МІКРОКОНТРОЛЕРА PIC10F200 23
2.1 Розробка структурної схеми приладу та вибір елементної бази 23
2.2 Розрахунок елементів схеми 30
2.3 Розробка схеми електричної принципової димера 31
2.4 Розрахунок параметрів фазового керування димера 34
2.5 Розробка топології друкованої плати 37
2.6 Розрахунок надійності приладу 39
3 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ТЕХНОГЕННА БЕЗПЕКА 45
3.1 Вимоги до виробничого приміщення 46
3.2 Параметри мікроклімату 48
3.3 Шум і вібрація 50
3.4 Електромагнітне і іонізуюче випромінювання 51
3.5 Режим праці 52
3.6 Розрахунок освітленості 53
3.7 Розрахунок рівня шуму 55
ВИСНОВКИ ТА РЕКОМЕНДАЦІЇ 58
ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАННОЇ ЛІТЕРАТУРИ 59

ВСТУП

Близько 90% всієї інформації про зовнішній світ надходить в наш мозок саме через очі.

Для комфортних умов роботи виробничого персоналу, виконання навчальних завдань здобувачами освіти необхідне раціональне освітлення, яке повинно:

- бути достатнім, щоб очі без напруження могли розрізняти деталі;
- постійним у часі, для цього напруга в мережі живлення не повинна коливатися більше ніж на 4 %;
- рівномірно розподіленим по робочих поверхнях, щоб очам не доводилось відчувати різкого світлового контрасту;
- не викликати сліпучої дії на органи зору людини як самого джерела світла, так і відбиваючих поверхонь, що знаходяться в полі зору працівника ;
- не викликати різких тіней на робочих місцях, в проїздах, шкільних підземних приміщеннях, проходах у разі правильного розташування світильників (прожекторів);
- бути безпечними - не викликати вибуху, пожежі в приміщеннях [1].

Особливої уваги набуло питання регулювання світла в період відключень внаслідок повномасштабного вторгнення в Україну, тому освітлення потребує систематичного догляду, правильної експлуатації освітлювальної установки та контролю освітленості на робочих місцях, у шкільних та дошкільних закладах, особливо у підземних приміщеннях.

Тож розробка сенсорного регулятора освітлення на напругу 220 В є достатньо актуальним питанням, особливо в період віялових відключень.

1 АНАЛІЗ ПРОБЛЕМИ ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ В УКРАЇНІ ТА СВІТІ

1.1 Глобальні тенденції

У сучасному світі проблема енергозбереження є однією з найактуальніших глобальних проблем. Зростання населення, індустріалізація, розвиток технологій та підвищення рівня життя призводять до стрімкого збільшення споживання енергетичних ресурсів. Водночас обмеженість природних ресурсів та негативний вплив енергетики на довкілля зумовлюють необхідність раціонального використання енергії.

Енергозбереження є ключовим фактором сталого розвитку, оскільки дозволяє зменшити витрати енергії, скоротити викиди парникових газів та підвищити енергетичну безпеку держав. Це не лише економічна вигода для споживачів та зменшення навантаження на електричні мережі, а також, що надзвичайно важливо, збереження довкілля для наших нащадків. [2]

Європейський Союз зобов'язався знизити своє щорічне споживання первинної енергії на 20 % до 2020 року.

Особливої актуальності ця проблема набуває для України, яка має високий рівень енергоємності економіки та залежить від імпорту енергоресурсів.

Енергозбереження — це комплекс заходів, спрямованих на раціональне використання енергетичних ресурсів та зменшення їх втрат у процесі виробництва, передачі та споживання.

Згідно з сучасними підходами, енергозбереження включає:

- впровадження енергоефективних технологій;

- використання відновлюваних джерел енергії;
- модернізацію інфраструктури;
- зміну поведінки споживачів.

У 2025 році інвестиції у підвищення енергоефективності досягли близько 600 млрд доларів, що свідчить про глобальне усвідомлення важливості цієї проблеми.

1.2 Енергозбереження в Україні

Україна є однією з найбільш енергоємних економік Європи, що означає значні витрати енергії на одиницю продукції.

До основних причин можна віднести:

- застаріле обладнання;
- низький рівень модернізації промисловості;
- значні втрати енергії в мережах;
- неефективне споживання в житловому секторі.

За оцінками, потенціал енергозбереження в Україні становить близько 11,8 млрд євро щороку [3]. Повномасштабна війна значно загострила проблему енергозбереження. Пошкодження енергетичної інфраструктури та загрози енергетичній безпеці підкреслили важливість ефективного використання ресурсів.

Енергоефективність є одним з головних стратегічних напрямків розвитку галузі районного господарства, необхідним інструментом досягнення комфортних умов в будівлях закладів освіти, охорони здоров’я та громадських закладах з метою втілення стандартів життя сучасної європейської спільноти.

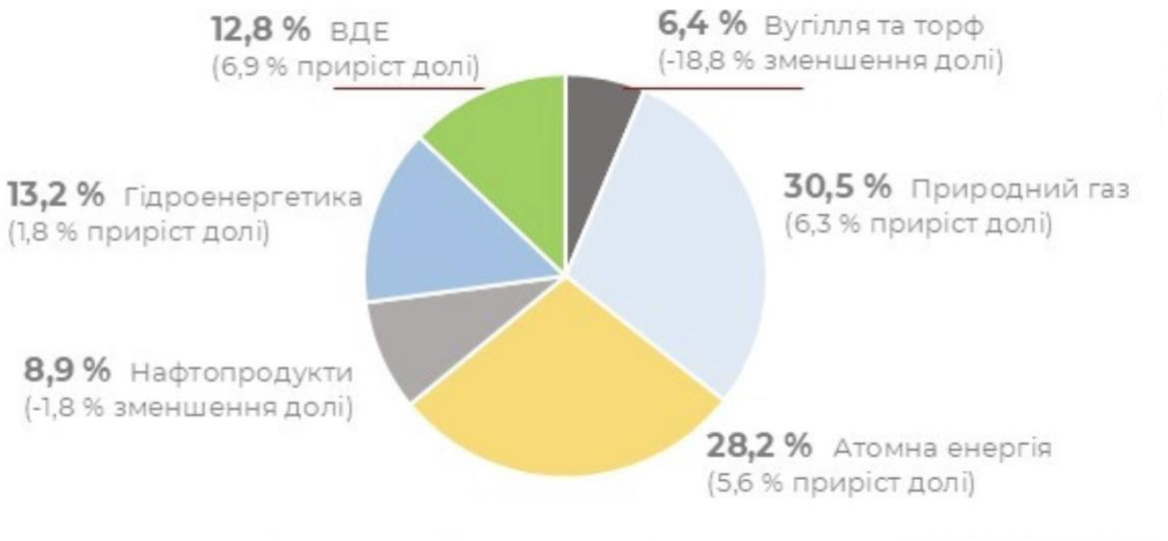


Рисунок 1.1 – Використання енергетичних ресурсів у 2025 році (у порівнянні з 2022) [4]

В Україні стан впровадження заходів з енергозбереження є вкрай недостатнім, а в житлово–комунальному господарстві – критичним.

В той час, коли кількість побутових електроприладів в населення невпинно збільшується та в умовах зростання тарифів на електроенергію, питання впровадження енергозберігаючих заходів у повсякденному житті набуває дедалі більшої актуальності. Енергозбереження передбачає не відмову від благ цивілізації чи обмеження власних потреб, а шлях раціонального використання енергоресурсів, отримання більшого обсягу корисної роботи електроприладів за рахунок тієї ж кількості електроенергії.

Розумне користування електроенергією дозволяє зменшити платежі за «світло» у 2-3 рази, або ж без додаткових витрат отримувати у 2-3 рази більше користі від власних електроприладів.

Електроенергія найбільше витрачається у денний час, особливо якщо мова не тільки про освітлення, а й про прилади для побутових потреб. Велика частина грошей іде саме на забезпечення енергією цього часу доби. Однак коли ви спите, прилади продовжують працювати і витрачати електроенергію.

Для того щоб економити електроенергію можна придбати допоміжні прилади, в цьому випадку допоможе двохтарифний лічильник. Він

оснащений механізмом, який із настанням ночі переводить лічильник на потрібний економний режим. Виходить, що в нічний час витрачається менше грошей. Таким способом, використання деяких приладів можна перенести на ніч, наприклад, домашнє прання. [5] Найкращий спосіб заощадити на світлі - встановити енергозберігаючі лампочки.

Україна має значний потенціал у сфері енергозбереження, зокрема:

- зменшення споживання енергії до 20–25% у перспективі;
- інтеграція до європейського енергетичного ринку;
- розвиток "зеленої" енергетики.

1.3 «Зелена» енергетика

Сонячні батареї дуже екологічні пристрої - за ними майбутнє. Але поки для простого споживача вони не надто доступні за ціною, так у квартиру їх нелегко поставити. Але у приватних будинках, при спільному володінні, при використанні «теплого кредиту» - програми нашої держави, - ми можемо вже розглядати такий варіант використання енергії сонця.

Розвиток альтернативних джерел енергії в Україні находиться у зародковому стані, але маємо непоганий потенціал для розвитку сонячної енергетики. Сьогодні в країні налагоджене власне виробництво високоефективних кремнієвих сонячних батарей із ККД до 20%. Для комплектації систем електропостачання необхідні системи керування, акумуляторні батареї й інвертори, що перетворюють постійний електричний струм у змінний. [6]

Хоча 90% комплектуючих до сонячних батарей сьогодні експортується за кордон, наявність високотехнологічного виробництва дозволяє говорити про можливість виробництва сонячних батарей власного виробництва, що значно здешевить їх кінцеву вартість. Тим більше, що своєрідний

«фундамент» у розвиток альтернативних джерел енергії вже закладений Верховною Радою [6].

При виборі монокристалічних сонячних батарей, перш за все, слід звертати увагу на заявлені характеристики і фактичну потужність.



Рисунок. 1.2 – Сонячна батарея

Принцип роботи сонячної батареї

Основою напівпровідникового сонячного елементу є пластина напівпровідника з p-n переходом. Його робота їх заснована на явищі фотоефекту, відкритому ще в позаминулому столітті Г. Герцем та дослідженому О.Г. Столетовим [7]. Теорію фотоефекту створив А.Ейнштейн у 1905 році, за що був відзначений Нобелівською премією. Суть ефекту полягає в тому, що кванти сонячного світла з енергією, більшою ніж ширина забороненої зони напівпровідника, поглинаються напівпровіднику і створюють пари носіїв струму: електрони в зоні провідності та дірки у валентній зоні. Для просторового розведення зарядів, а значить і виникнення електричного струму, необхідна наявність внутрішнього електричного поля у напівпровіднику. Таке поле існує в електронно-дірковому p-n переході, в контакті метал-напівпровідник, в контакті двох різних напівпровідників (гетеропереході).

На рис. 1.3 схематично показано сонячний елемент з p-n переходом та напрям руху фотогенерованих носіїв заряду [8]. Фотогенеровані в p-області електрони витягуються електричним полем в n-область, і, навпаки, фотогенеровані в n-області дірки витягуються електричним полем в p-область. На омічних контактах виникає різниця потенціалів, яка називається напругою холостого ходу Uxx. Якщо закоротити контакти, то через сонячний елемент потече струм короткого замикання Ікз. Для того, щоб елемент віддавав енергію в зовнішнє коло, до його контактів підєднують навантаження, яке має електричний опір Rн. Тобто сонячний елемент виконує роль помпи, яка перекачує електрони в напрямку n-область - зовнішнє навантаження - p-область.

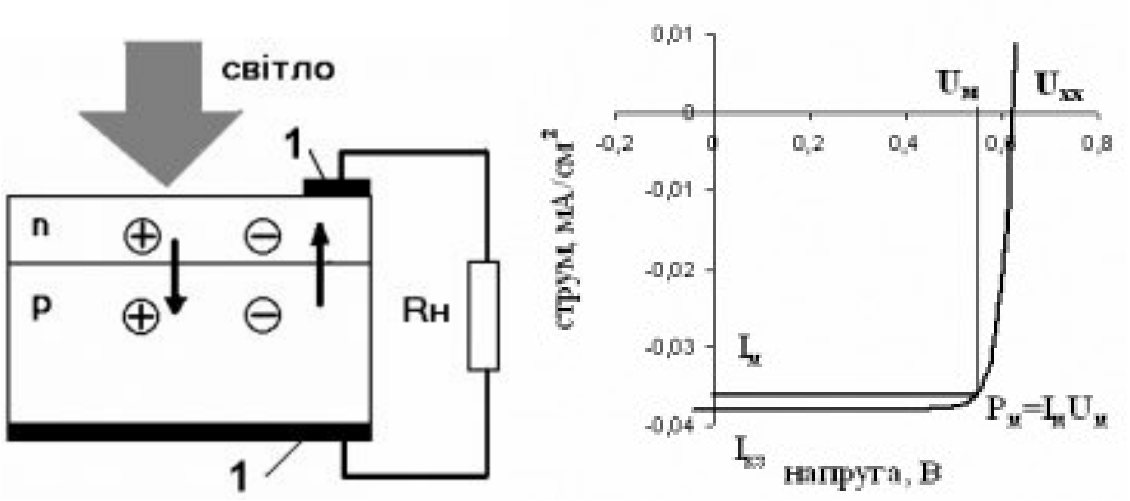


Рисунок 1.3 - Схема сонячного елементу з p-n переходом та його вольт-амперна характеристика. Цифрою 1 показано омічні контакти до n- та p-областей.

Оскільки вольт-амперна характеристика такого приладу проходить через четвертий квадрант (рис. 1.3), то це значить, що прилад є джерелом струму. Слід відзначити, що на відміну від хімічних джерел світла напівпровідникові сонячні елементи не псуються при електричному замиканні контактів. При відповідному виборі опору навантаження енергія,

що виробляється сонячним елементом, може досягати 80% від добутку $U_{хх} \cdot I_{кз}$. На рис. 1.3 показані також значення $U_м$ та $I_м$ – значення струму та напруги, для яких реалізується максимальна вихідна потужність $P_м = U_м \cdot I_м$. Коефіцієнт корисної дії ККД сонячного елементу визначається як відношення максимальної вихідної потужності $P_м$ до потужності падаючого сонячного світла P_0: ККД= $P_м / P_0$.

Чим більше фотонів сонячного світла поглинається сонячним елементом, тим більшим буде у нього струм $I_{кз}$. Це може бути досягнено за рахунок використання напівпровідників з меншою шириною забороненої зони (тоді підвищується доля фотонів в сонячному випромінюванні, які мають енергію вищу ширини забороненої зони напівпровідника). З іншого боку, напруга $U_{хх}$ визначаються висотою потенціального бар'єру в p-n переході і буде тим більша, чим більша ширина забороненої зони напівпровідника. Оскільки для отримання максимальної вихідної потужності сонячного елементу треба створити такий елемент, у якого будуть найбільшими не величини $U_{хх}$ чи $I_{кз}$ окремо, а добуток $P_м = U_м \cdot I_м$, та, враховуючи розподіл енергії в спектрі сонячного випромінювання, можна підібрати найкращий напівпровідниковий матеріал для створення ефективних сонячних елементів. Такий матеріал повинен мати ширину забороненої зони 1.3-1.5 еВ. Це, насамперед, арсенід галію, теоретична межа максимального коефіцієнту корисної дії сонячних елементів на ньому більше 31%. Проте найбільш широкого застосування набули сонячні елементи на основі більш дешевого ніж арсенід галію кремнію, хоча в нього ширина забороненої зони менша оптимальної (1.1 еВ), і тому теоретична межа максимального коефіцієнту корисної дії менша (до 29%).

Домінуюча позиція кремнієвої технології у промисловій сонячній енергетиці (90% світового виробництва сонячних елементів) визначає сучасні тенденції науково-технічного розвитку цієї галузі. Перевагами кремнієвої технології є достатня наявність кремнію у природі, його хімічна стабільність і відсутність будь-якого токсичного впливу на людей і навколишнє

середовище, сумісність технології кремнієвих сонячних елементів і базових процесів мікроелектроніки. Ефективність промислових сонячних елементів на мульти- і монокристалічному кремнії вже досягла 14-18%, лабораторних зразків - 22-24%.

Чому ж ефективність сонячних елементів менша 100%? По-перше, не всі пари носіїв струму можуть бути розведені полем. Деякі з них можуть рекомбінувати (гинути) в результаті переходу збудженого електрона із зони провідності у валентну зону. По-друге, кванти світла з енергією меншою ширини забороненої зони, не поглинаються напівпровідником і не беруть участі у фотоелектричному процесі. По-третє, електрони і дірки, збуджені квантами світла з енергією, значно більшою ніж ширина забороненої зони, за дуже короткий час віддають надлишок енергії і опускаються до дна зони провідності (електрони) чи піднімаються до вершини валентної зони (дірки). Надлишкова енергія при цьому йде не на створення струму в зовнішньому колі, а на підвищення температури напівпровідника.

Сонячний модуль - це батарея взаємозв'язаних сонячних елементів, укладених під скляною кришкою. Фотоелектричну систему можна довести до будь-якого розміру. Власник такої системи може збільшити або зменшити її, якщо зміниться його потреба в електроенергії. У міру зростання енергоспоживання і фінансових можливостей, домовласник може додавати модулі. Чим інтенсивніше світло, падаюче на фотоелементи і чим більше їх площа, тим більше виробляється електрики і тим більше сила струму. Модулі класифікуються по піковій потужності у ватах (Вт). Ват - одиниця вимірювання потужності. Один піковий ват - технічна характеристика, яка указує на значення потужності установки в певних умовах, тобто коли сонячне випромінювання в 1 кВт/м^2 падає на елемент при температурі 25 ^{O}C. Така інтенсивність досягається за хороших погодних умов і Сонця в зеніті. Щоб виробити один піковий ват, потрібен один елемент розміром 10 х 10 см. Крупніші модулі, площею 1 м х 40 см, виробляють близько 40-50 Вт. Проте сонячна освітленість рідко досягає величини 1 кВт/м^2. Більш того, на сонці

модуль нагрівається значно вище за номінальну температуру. Обидва ці чинника знижують продуктивність модуля. В типових умовах середня продуктивність складає близько 6 Вт·год в день і 2000 Вт·год в рік на 1 Вт. 5 ват·година - це кількість енергії, споживана лампочкою 50 вата протягом 6 хвилин (50 Вт х 0,1 год = 5 Вт·год) або портативним радіоприймачем протягом години (5 Вт х 1 год = 5 Вт·год) [9].

Хоча якість продукції не завжди однакова, більшість міжнародних компаній проводить достатньо надійні фотоелектричні модулі з терміном експлуатації до 20 років. На сьогоднішній день виробники модулів гарантують вказану потужність на період до 10 років.

Сьогодні в деяких промислово розвинених країнах потужність вітроелектростанцій досягає помітних значень. Так, в США виробляється більше 1,5 млн. кВт. вітрові електростанції, в Данії виробляють близько 3% спожитої країною енергії; найбільша потужність ВЕУ в Швеції, Нідерландах, Великобританії і Німеччині.

Україна здатна ефективно використовувати енергію вітру в окремих зонах при середньорічній швидкості вітру понад 4-5 м/с. Такі швидкості, достатні для будівництва ВЕС мають: Хмельницька і Волинська області, Азово-Чорноморське узбережжя (Донецька і Херсонська), зони на Кіровоградщині та Дніпропетровщині, вітрові зони в Харківській області, Криму (Керченський і Тарханкутський півострови, окрайка Ай-Петринської яйли, повернута до Чорного моря), Карпатах. [10]

Держави світу, які сьогодні активно розвивають вітроенергетику, перейшли на потужності окремих генераторів від 1000 до 3 000 кВт, які мають коефіцієнт корисної дії близько 30% і більше. Натомість в Україні використовують генератори меншої потужності й менш ефективні. Розрахунки показують, що капіталовкладення на 1 кВт потужності за умови закупівлі імпортних машин – 1500 євро. Якщо налагодити їх виготовлення в Україні, то ця цифра зменшиться до 1100 євро. За таких умов середня собівартість виробленої електроенергії на вітроагрегатах буде коливатися від

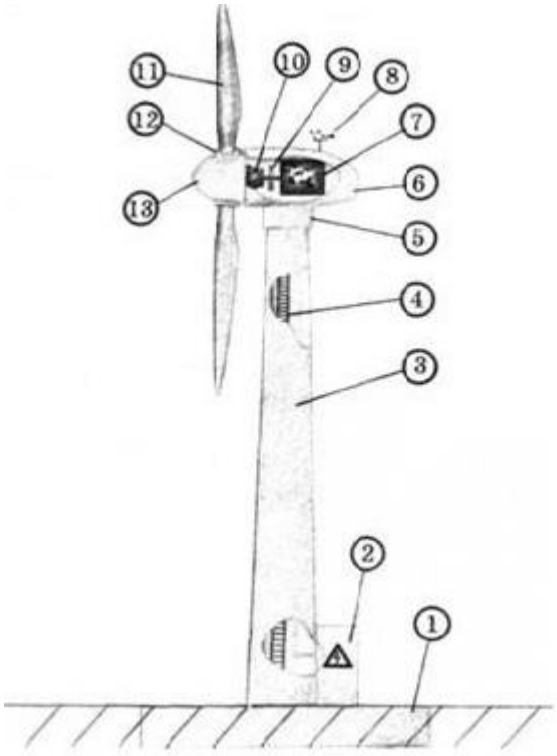
1,7 до 2,0 цента, що є достатньою привабливою величиною. За терміну окупності 30 років електроенергію ВЕС можна продавати по 3 центи за кВт/годину. Проте, якщо термін окупності зменшити до 10 років, то ціну на електроенергію треба збільшити до 6 і більше центів, та й то у разі, коли кошти на будівництво вдасться залучити за нульовою річною ставкою. За 10% кредитів для окупності за 10 років тариф становитиме 7 центів за кВт/год і більше. До речі, в Німеччині новозбудовані вітроелектростанції продають електроенергію по 8,5 цента.

Вітроенергетична установка (ВЕУ, або вітряк) – технічна конструкція, поперетворює енергію рухомих повітряних мас в електричну. Під поняттям «вітрова електростанція» розуміють же систему з таких установок.

Є дві принципово різні конструкції вітроустановок: з горизонтальною і вертикальною віссю обертання.

Основними елементами вітроенергетичних установок є вітроприймальний пристрій (лопаті), редуктор передачі крутильного моменту до електрогенератора, електрогенератор і башта.

Вітроприймальний пристрій разом з редуктором передачі крутильного моменту утворює вітродвигун. Завдяки спеціальній конфігурації вітроприймального пристрою в повітряному потоці виникають несиметричні сили, що створюють крутильний момент.



1 - фундамент; 2 - силова шафа, що включає силові контактори і ланцюги керування; 3 - вежа; 4 - сходи; 5 - поворотний механізм; 6 - гондола; 7 - електричний генератор; 8 - система спостереження за напрямком і швидкістю вітру (анемометр); 9 - гальмова система; 10 - трансмісія; 11 - лопаті; 12 - система зміни куту атаки; 13 - ковпак ротора.

Рисунок. 1.3 – Будова вітрогенератора [10]

1.4 Пристрої керування електричною потужністю

У сучасній електротехніці та електроніці велике значення мають пристрої, які дають змогу змінювати, регулювати та розподіляти електричну потужність відповідно до потреб споживача. Такі пристрої широко застосовуються в побуті, промисловості, енергетиці, транспорті, автоматизованих системах керування та освітлювальних мережах. Їх використання дозволяє не лише керувати роботою електричних навантажень, а й підвищувати енергоефективність, зменшувати втрати електроенергії та забезпечувати безпечну експлуатацію обладнання.

Пристрої керування електричною потужністю використовуються для зміни напруги, струму, частоти або фази сигналу, що подається на навантаження. Завдяки цьому можна регулювати яскравість ламп, швидкість обертання електродвигунів, температуру нагрівальних елементів, а також керувати роботою складних технічних систем. Розвиток напівпровідникової техніки значно розширив можливості таких пристроїв, зробивши їх компактними, надійними та економічними.

Електрична потужність є однією з основних величин в електротехніці, яка характеризує швидкість перетворення або споживання електричної енергії. Вона визначається добутком напруги на струм у колі. У системах змінного струму також враховується зсув фаз між напругою та струмом.

Керування електричною потужністю полягає у зміні кількості енергії, що передається від джерела до навантаження. Це може здійснюватися різними способами:

- зміною напруги живлення;
- зміною струму в колі;
- періодичним вмиканням та вимиканням навантаження;
- зміною кута відкривання напівпровідникових ключів;
- перетворенням частоти або форми електричного сигналу.

Основною метою такого керування є забезпечення потрібного режиму роботи електричного пристрою. Наприклад, для лампи розжарювання це може бути регулювання яскравості, для електродвигуна — зміна швидкості, для нагрівача — підтримання заданої температури.

Пристрої керування електричною потужністю можна класифікувати за принципом дії, типом елементної бази та сферою застосування.

До найпростіших пристроїв належать рубильники, вимикачі, контактори, реле та автотрансформатори. Вони використовувалися ще до

широкого впровадження напівпровідникової техніки й досі застосовуються в багатьох системах.

До їх переваг можна віднести

- простота конструкції;
- надійність;
- можливість роботи з великими струмами.

Недоліки:

- механічний знос контактів;
- утворення іскріння;
- відносно низька швидкодія;
- великі габарити.

Електромеханічні пристрої часто застосовують там, де не потрібно плавного регулювання потужності, а достатньо лише вмикання або вимикання навантаження.

Трансформатори та автотрансформаторні регулятори змінюють напругу на навантаженні шляхом перемикання відводів обмотки. Цей спосіб дає змогу отримувати різні рівні напруги без значних втрат потужності.

Переваги:

- високий ККД;
- надійність;
- хороша якість напруги на виході.

Недоліки:

- великі розміри та маса;
- відсутність плавного регулювання в простих схемах;
- відносно висока вартість.

Такі регулятори широко застосовувалися для живлення електродвигунів, освітлення та лабораторного обладнання.

Сьогодні найбільш поширеними є пристрої керування потужністю на основі напівпровідникових елементів:

- діодів;

- транзисторів;
- тиристорів;
- симісторів;
- MOSFET-транзисторів;
- IGBT-транзисторів.

Саме вони лежать в основі сучасних регуляторів освітлення, перетворювачів частоти, імпульсних блоків живлення, стабілізаторів, джерел безперебійного живлення та електроприводів.

Одним із найпоширеніших способів керування потужністю в колах змінного струму є використання тиристорів і симісторів.

Сучасні пристрої керування електричною потужністю дедалі частіше будуються на основі мікроконтролерів. Це дає змогу поєднати силову електроніку з алгоритмічним керуванням, автоматикою та цифровою обробкою сигналів.

Мікроконтролер може:

- аналізувати стан входів;
- визначати момент переходу напруги через нуль;
- формувати керуючі імпульси для тиристора або симістора;
- реалізовувати плавне регулювання;
- контролювати температуру, струм, напругу;
- забезпечувати захист від перевантаження.

Такі системи використовуються в:

- регуляторах освітлення;
- терморегуляторах;
- стабілізаторах напруги;
- системах «розумного дому»;
- промислових контролерах.

Перевагою мікроконтролерного підходу є гнучкість. Один і той самий апаратний пристрій може виконувати різні функції залежно від програмного забезпечення.

Одним із найбільш поширених засобів регулювання освітлення є димери — електронні пристрої, що дозволяють змінювати яскравість світлових джерел. Основною функцією димера є зміна яскравості світла шляхом регулювання напруги або струму, що подається на лампу.

Перші димери були громіздкими реостатами, які працювали за принципом зміни опору. Вони мали низький коефіцієнт корисної дії та значні втрати енергії у вигляді тепла. Сучасні димери базуються на напівпровідникових елементах і є значно ефективнішими. [11]

Їх використання забезпечує не лише комфорт, а й значну економію електроенергії, що особливо актуально в умовах глобальної енергетичної кризи. Основний принцип роботи сучасного димера полягає у зміні форми синусоїдального сигналу змінного струму. Це досягається за допомогою керування моментом відкриття напівпровідникового ключа (зазвичай симістора або тиристора).

Регулювання потужності заснована на реверсивному принципі управління фазою. Навантаження включається в кожному напівперіоді мережі в момент переходу мережевої напруги через нуль і вимикається через певний інтервал часу в залежності від необхідного рівня яскравості.

"М'яке" управління транзистором дозволяє знизити рівень перешкод і дзвін нитки лампи - не потрібен громіздкий мережевий фільтр, що знижує ефективність і часто є джерелом неприємного дзижчання - завдяки наростання напруги з нуля та малому дзвону нитки, лампи служать набагато довше - для управління MOSFET транзистором потрібно набагато менший струм - більш низьке падіння напруги на переході транзистора скорочує тепловиділення - відсутність поняття "струм утримання" дозволяє плавно регулювати малу яскравість Стабілізація потужності (тобто яскравості) заснована на використанні формули:

$$P = \frac{\mathrm{U2}}{\mathrm{R}} \tag{1.1}$$

Опір нитки R, звичайно, залежить від температури, а також змінюється в деяких межах протягом кожного напівперіоду, але з досліджень різних розробників встановлено, що на якості стабілізації це не відбивається. [11]

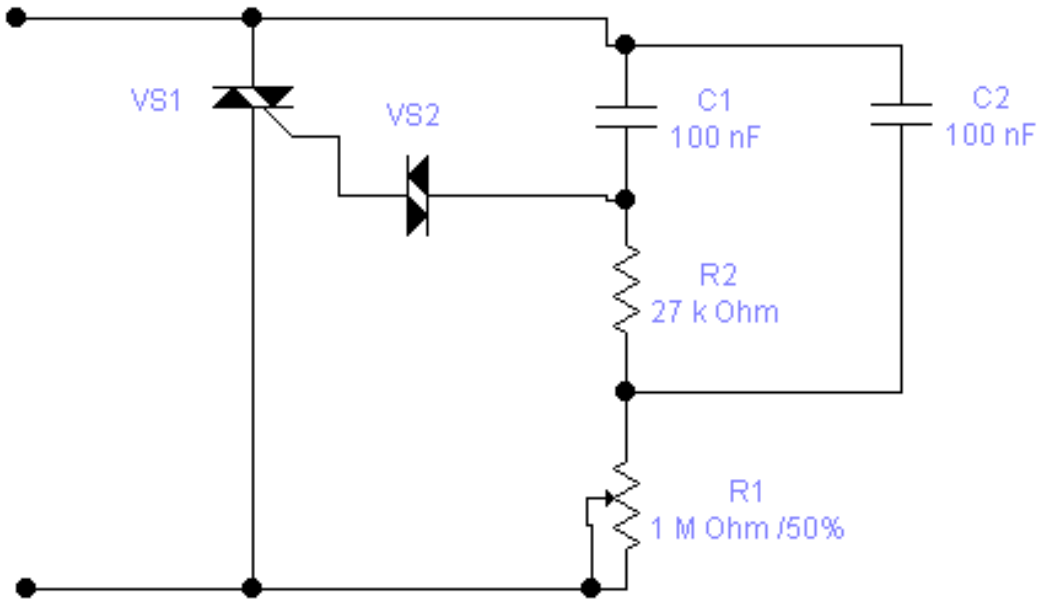


Рисунок. 1.5 – Схема електрична принципова димера

Найпростіший димер для змінного струму, побутового освітлення є комбінація діода та двоклавішного (або багатоклавішного) вимикача. Діод включається між контактами вимикача, до одного з яких підключена лампа розжарювання або інший прилад. При включенні однієї з клавіш живлення здійснюється через діод. При включенні іншої — звичайне живлення. Діод підбирається за електричними параметрами із запасом (максимальний струм та напруга).

Димери широко застосовуються в побуті, промисловості, сценічному освітленні та системах «розумного дому».

До основних переваг можна віднеси:

- економія електроенергії;

- збільшення терміну служби ламп;
- можливість створення комфортного освітлення;
- зменшення тепловиділення.

Димери є важливими електронними пристроями, що забезпечують ефективне керування електричною потужністю. Вони дозволяють не лише регулювати освітлення, але й підвищувати енергоефективність систем.

Сучасні технології значно розширили можливості димерів, зробивши їх універсальними та зручними у використанні. Подальший розвиток пов’язаний із впровадженням цифрових технологій та інтеграцією у системи.

Тож метою роботи є розробка приладу для автоматичного регулювання світла на основі мікроконтролера.

Задачі роботи:

- розробка структурної схеми приладу;
- вибір та розрахунок елементної бази;
- написання програми для мікроконтролера;
- розробка схеми електричної принципової;
- розробка топології друкованої плати приладу;
- виконання розрахунку параметрів надійності.

2 ПРИЛАД ДЛЯ АВТОМАТИЧНОГО РЕГУЛЮВАННЯ СВІТЛА НА ОСНОВІ МІКРОКОНТРОЛЕРА PIC10F200

2.1 Розробка структурної схеми приладу та вибір елементної бази

Розроблено структурну схему приладу автоматичного регулювання роботою світильника (рис.2.1).

Прилад складається з наступних основних блоків:

- безтрансформаторний блок живлення формує низьку стабілізовану напругу для мікроконтролера;
- мікроконтролер обробляє вхідний сигнал та формує команди керування;
- керуючий каскад — підсилює та узгоджує сигнал керування із силовим ключем;
- силовий ключ — комутує мережеве навантаження.

Основним керуючим елементом виступає мікроконтролер, який формує керуючі імпульси для симістора. Для побудови схеми димера обрано мікроконтролер PIC10F200.

PIC10F200 — це надкомпактний та бюджетний 8-бітний мікроконтролер від Microchip, що працює на частоті 4 МГц (2–5.5В). Має 384 Байт Flash-пам'яті, 16 Байт SRAM, 3 порти вводу/виводу, 6-бітний таймер та підтримує ICSP.

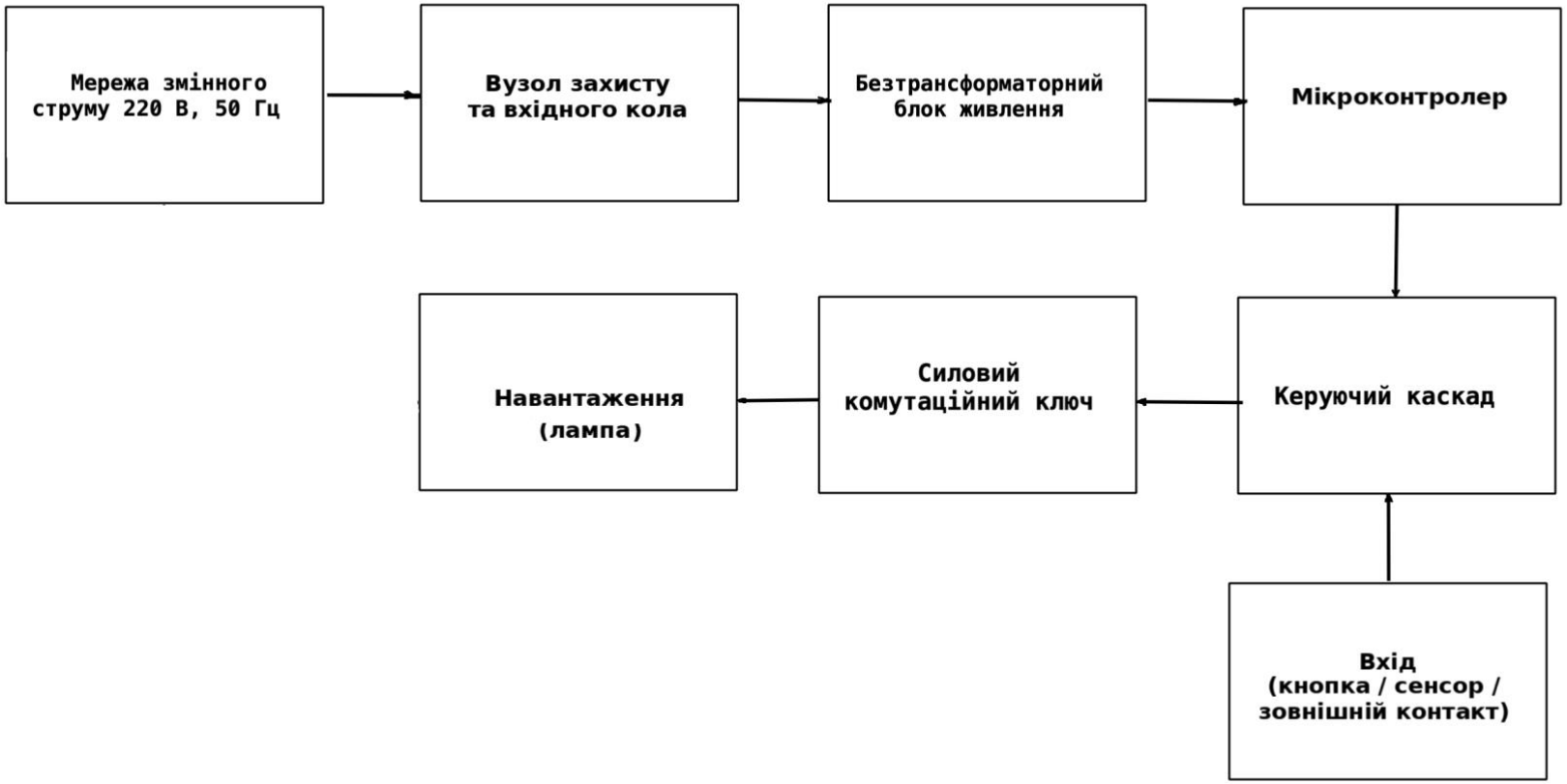


Рисунок 2.1- Структурна схема приладу автоматичного регулювання світильника

Основні характеристики PIC10F200

- Тип: 8-бітний CMOS мікроконтролер.
- Пам'ять програм (Flash): 384x12 біт.
- Пам'ять даних (SRAM): 16x8 байт.
- Ввід/Вивід (I/O): 3 лінії вводу/виводу, 1 вхід.
- Таймер: Один 8-бітний таймер (з 6-бітним переддільником).
- Робоча частота: 4 МГц (внутрішній осцилятор).
- Напруга живлення: 2.0 – 5.5В.
- Корпуси: DIP-8 (PIC10F200-I/P), SOT-23-6 (PIC10F200T-I/OT).

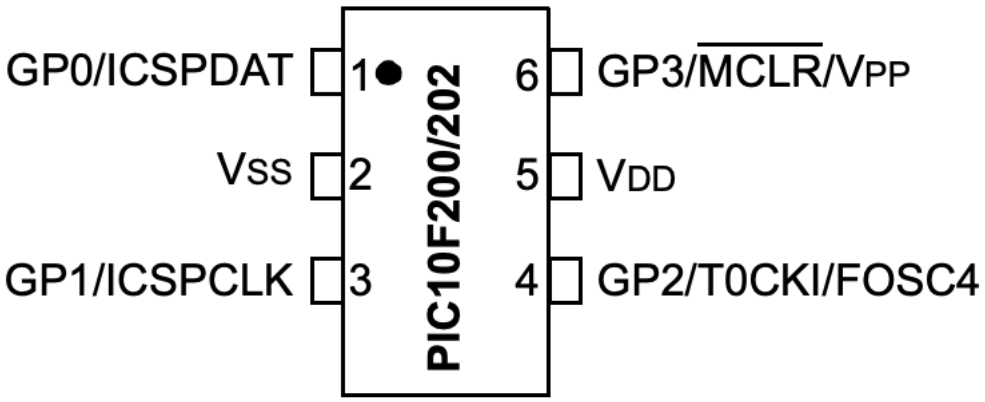


Рисунок 2.2 -Призначення виводів [12]

Основні переваги мікроконтролера:

- 8-бітний таймер/лічильник (TMR0) з програмованим переддільником.
- Сторожовий таймер (WDT) для захисту від зависання програми.
- Power-on Reset (POR) та Device Reset Timer (DRT) для надійного запуску.
- Підтримка ICSP: можливість програмування безпосередньо у готовій схемі.
- Захист коду: можливість захистити прошивку від зчитування.

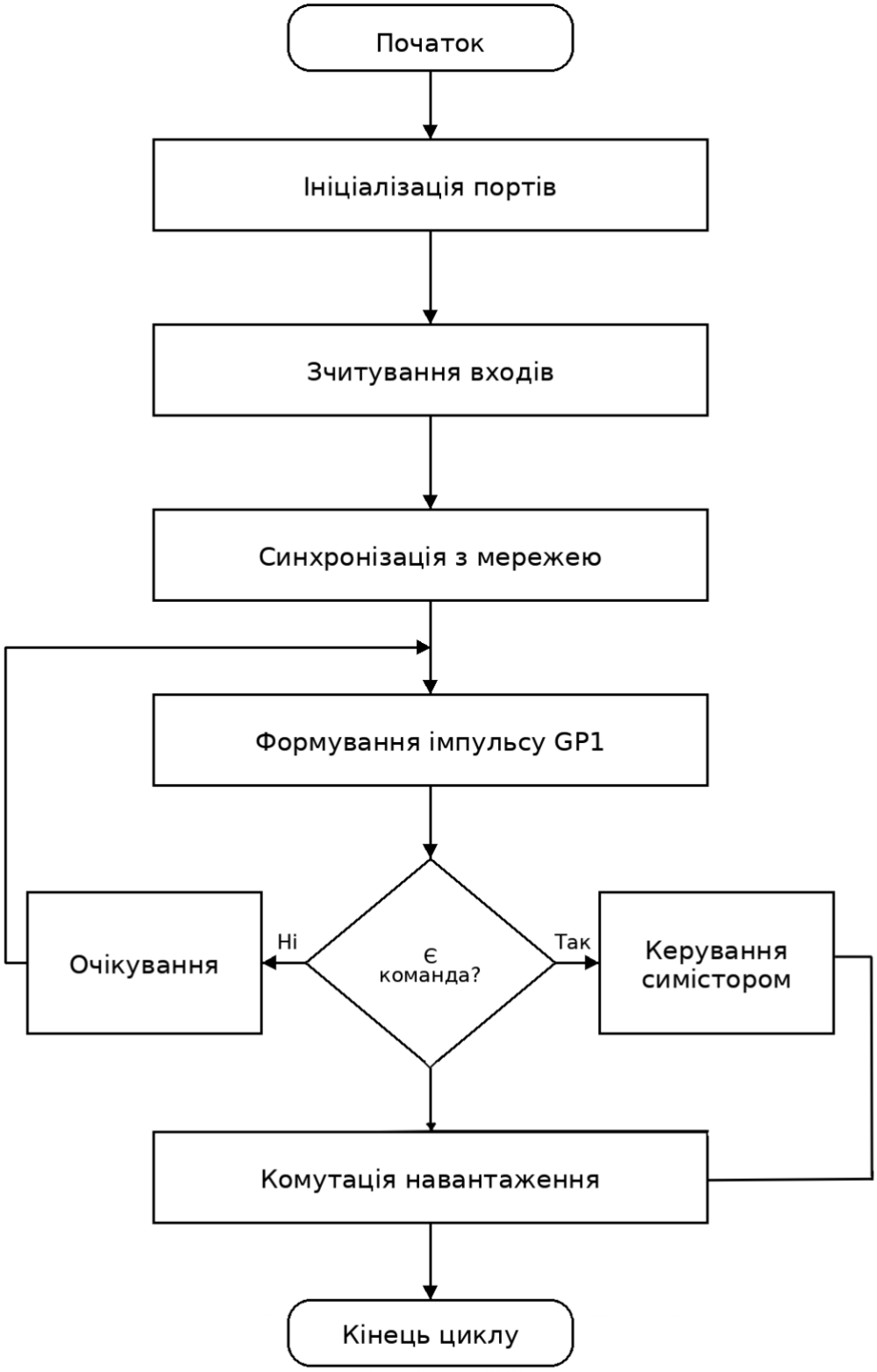


Рисунок 2.3- Алгоритм роботи мікроконтролера

Програма для мікроконтролера написана на мові PIC BASIC — це мова програмування високого рівня, спеціально розроблена для програмування мікроконтролерів PIC компанії Microchip. Вона спрощує роботу з апаратною частиною, дозволяючи використовувати прості команди Basic для керування портами, таймерами та іншими периферійними пристроями.

```
Define CONFIG = 0x0009
Symbol mode_in = GP3
Symbol gate_out = GP0
Symbol zero_input = GP1
Symbol sens_input = GP2
Dim zero_cross As Byte
Dim touch_on As Byte
Dim touch_off As Byte
Dim power_on As Byte
Dim power_off As Byte
Dim min_power As Byte
Dim counter_decisecond As Byte
Dim counter_second As Byte
Dim counter_minute As Byte
Dim timer_volume As Byte
Const edge_zero = 15
Const gate_on_time = 20
Const max_count = 75
Const count_cycle = 70
Const touch_first = 38
Const touch_second = 40
TRISIO = %1110
OPTION_REG = %11010110
```

```
gate_out = 0
min_power = 1
If mode_in = 1 Then min_power = 50
start:
zero_cross = edge_zero
While zero_cross > 0
If zero_input = 1 Then zero_cross = zero_cross — 1
Wend
Call work_mode()
zero_cross = edge_zero
While zero_cross > 0
If zero_input = 0 Then zero_cross = zero_cross — 1
Wend
Call work_mode()
Goto start
End
Proc work_mode()
TMR0 = 0
timer_volume = 0
While timer_volume < max_count
    While timer_volume = TMR0
    Wend
    timer_volume = TMR0
    If power_on = 0 Then
        power_off = 0
    Else
        power_off = power_on + 5
    Endif
    If power_on < timer_volume And timer_volume < power_off Then
```

```
High gate_out
WaitUs gate_on_time
Low gate_out
Endif
Select Case timer_volume
Case touch_first
    zero_cross = GPIO And %00000110
    If zero_cross = %00000010 Then touch_on = touch_on + 1
    If zero_cross = %00000110 Then touch_off = touch_off + 1
Case touch_second
    If touch_off > 20 Then
        If touch_on > 50 And touch_on < 151 Then
        power_on = 0
        Endif
        If touch_on > 10 And touch_on < 51 Then
        power_on = min_power
        Endif
        touch_off = 0
        touch_on = 0
    Endif
Case count_cycle
    If power_on = 0 Then
        counter_decisecond = 0
        counter_second = 0
        counter_minute = 0
    Else
        counter_decisecond = counter_decisecond + 1
        If counter_decisecond = 250 Then
            counter_second = counter_second + 1
```

```
                    counter_decisecond = 0
                    If counter_second = 6 Then
                        counter_minute = counter_minute + 1
                        counter_second = 0
                    Endif
                Endif
                If counter_minute > 3 Then power_on = min_power
                If counter_minute > 5 Then power_on = 0
            Endif
            If power_on > 1 And counter_minute = 0 Then power_on = power_on
— 1
        Case Else
        EndSelect
Wend

        End Proc
```

2.2 Розрахунок елементів схеми

1. Розрахунок ємнісного опору:

$X_c = 1 / (2\pi fC)$

f = 50 Гц, C = 100 нФ

$X_c \approx 31.8$ кОм

Струм:

$I = U / X_c = 220 / 31800 \approx 6.9$ мА

2. Резистор R_1:

$P = I^2R \approx 0.0245$ Вт, достатньо 0.25 Вт

3. Стабілітрон:

P ≈ 0.036 Вт, достатньо 0.25 Вт

4. Дільник напруги:

R = 6.6 МОм

I ≈ 33 мкА

5. Керування симістором:

I_g ≈ 23 мА

6. Навантаження:

I ≈ 0.45 А (для 100 Вт)

7. Дросель:

XL ≈ 0.015 Ом (на 50 Гц)

8. RC-снаббер:

Типові значення: 100 нФ + 500 Ом

Результати розрахунків підтвердили працездатність схеми.

2.3 Розробка схеми електричної принципової димера

На основі структурної схеми розроблена схема електрична принципова (рис. 2.4)

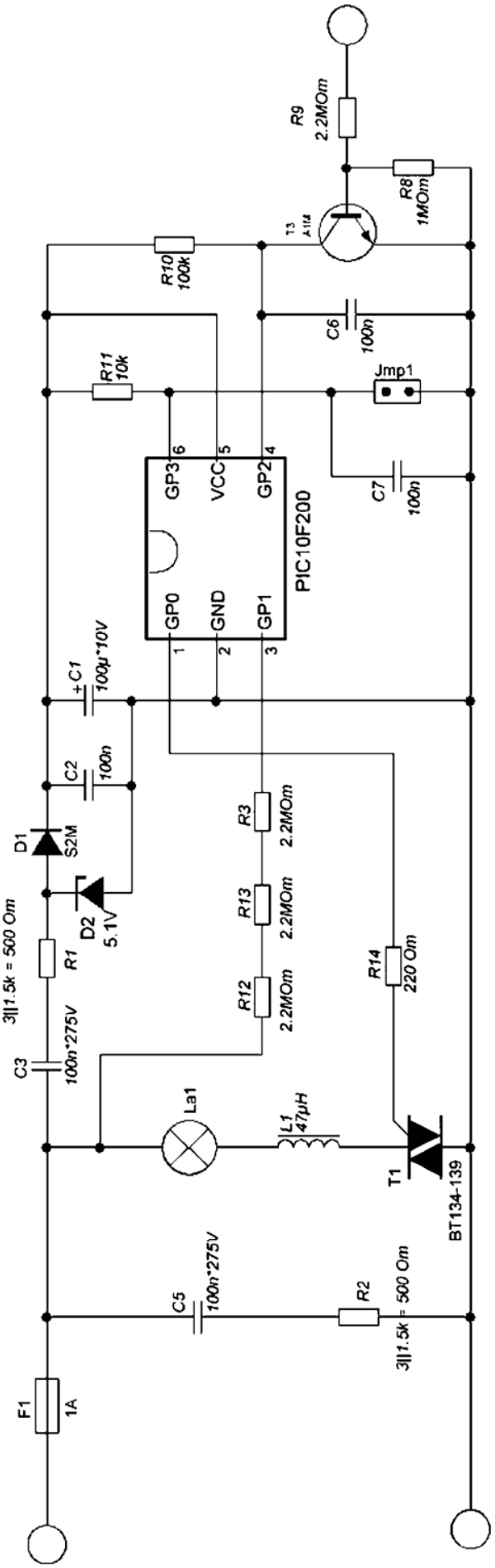


Рисунок 2.4- Схема електрична принципова димера

Принцип роботи та призначення елементів схеми:

Схема працює від мережі 220 В. Живлення схеми реалізоване за безтрансформаторною схемою. Напруга мережі 220 В надходить через конденсатор C3, який виконує роль реактивного опору та обмежує струм. Резистор R1 обмежує пускові струми. Далі напруга випрямляється діодом D1 та стабілізується стабілітроном D2 на рівні приблизно 5,1 В. Конденсатори C1 і C2 забезпечують згладжування пульсацій. Таким чином формується стабільне живлення для мікроконтролера.

Мікроконтролер PIC10F200 виконує основну логіку роботи пристрою. Він отримує інформацію про момент переходу мережевої напруги через нуль та формує затримку перед подачею керуючого імпульсу на симістор. Залежно від цієї затримки змінюється середня потужність, що подається на навантаження. Для визначення моменту переходу напруги через нуль використовується резистивний дільник напруги (R12, R13, R3), який подає ослаблений сигнал на вхід мікроконтролера. Це дозволяє синхронізувати роботу керування з мережею змінного струму.

Керування навантаженням здійснюється за допомогою симістора BT134-139. Після отримання керуючого імпульсу від мікроконтролера (через резистор R14) симістор відкривається і пропускає струм через лампу La1. Закриття симістора відбувається автоматично в момент наступного переходу струму через нуль. Для зменшення електромагнітних завад використовується дросель L1, а також RC-ланцюг (C5, R2), що виконує функцію снаббера.

Принцип регулювання потужності базується на зміні кута відкривання симістора:

- при малій затримці після переходу через нуль симістор відкривається раніше, і на навантаження подається більша потужність;
- при більшій затримці — менша частина синусоїди потрапляє на навантаження, що зменшує потужність.

Таким чином здійснюється плавне регулювання яскравості лампи.

Схема містить високочутливий вхід керування на транзисторі та резисторах великого номіналу (R8, R9), який може працювати як сенсорний вхід. Зміна сигналу на цьому вході обробляється мікроконтролером і впливає на режим роботи пристрою.

Регулювання потужності заснована на реверсивному принципі управління фазою. Навантаження включається в кожному напівперіоді мережі в момент переходу мережевої напруги через нуль і вимикається через певний інтервал часу в залежності від необхідного рівня яскравості.

2.4 Розрахунок параметрів фазового керування димера

Виконаємо розрахунок димера (фазове керування).

Вихідні дані:

Напруга мережі: 220 В

Частота: 50 Гц

Навантаження: лампа розжарювання 100 Вт

1. Амплітудне значення напруги [13]

$U_m = \sqrt{2} \cdot 220 \approx 311$ В

2. Кут відкривання

Приймаємо $\alpha = 90°$ ($\pi/2$ рад)

3. Діюче значення напруги

$U_{rms} \approx 220 \cdot \sqrt{((\pi - \alpha + \sin(2\alpha)/2) / \pi)}$

Після підстановки: $U_{rms} \approx 155$ В

4. Потужність навантаження

$P = U^2 / R$

Для лампи 100 Вт: $R \approx 484$ Ом

$P \approx 155^2 / 484 \approx 50$ Вт

5. Постійна часу RC

$\tau = R \cdot C$

Приклад: R = 470 кОм, C = 100 нФ

$\tau \approx 0.047$ с

Виконаємо аналіз фазового регулятора з урахуванням гармонік та форми сигналу.

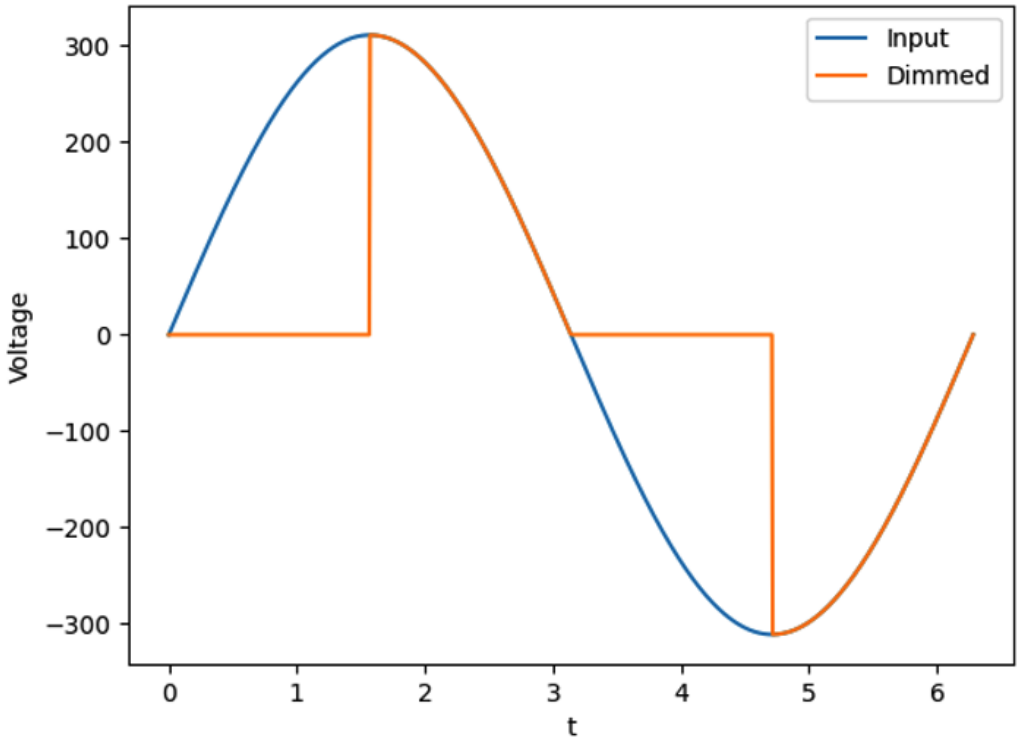


Рисунок 2.5 -Осцилограма сигналу

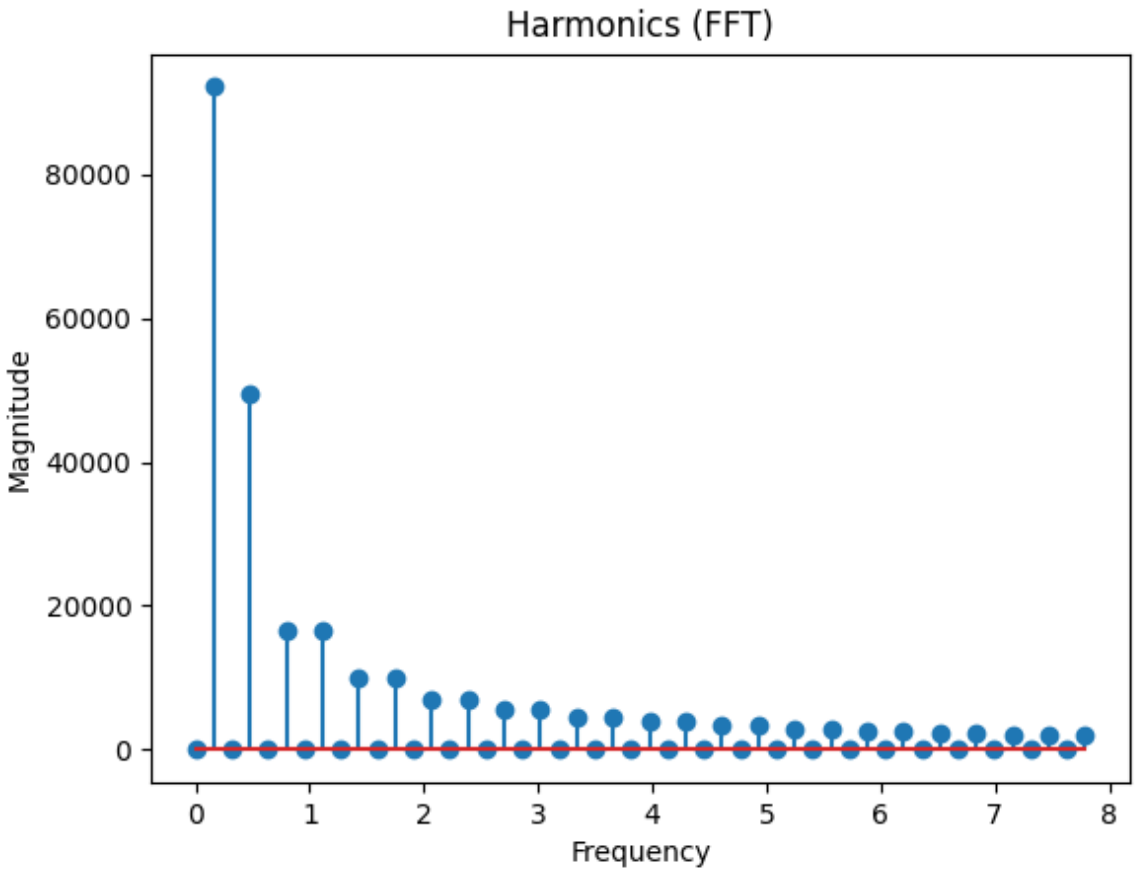


Рисунок 2.6- Перетворення Фур’є

Розрахунок показав, що при збільшенні кута відкривання симістора потужність зменшується. Фазове керування викликає значні гармоніки та спотворення сигналу.

Таким чином, запропонована схема є ефективним мікроконтролерним регулятором потужності, що використовує фазове керування симістором. Вона поєднує в собі простоту реалізації, відсутність трансформатора живлення та можливість гнучкого керування навантаженням.

2.5 Розробка топології друкованої плати

Процес розробки друкованої плати складається з наступних операцій:

- компонування друкованої плати, в процесі якої знаходять оптимальне розміщення навісних елементів на друкованій платі, згідно електричної принципової схеми виробу. В результаті компонування знаходять положення контактних майданчиків для підключення всіх елементів;
- розводка друкованих провідників ("трасування"). Мета цієї операції - провести провідники, що з'єднують контактні площадки, так, щоб вони мали мінімальну довжину, і мінімальне число переходів на інші виводи з метою усунення перетинів;
- оформлення креслення з дотриманням вимог стандартів [14].

Компонування радіотехнічного виробу - це розміщення на площині або в просторі різних елементів виробу. Такими елементами можуть бути радіодеталі (резистори, конденсатори, котушки індуктивності і т. д.), функціональні вузли різного конструктивного виконання (модулі, інтегральні мікросхеми, мікроскладення і т. д.), блоки та прилади [14].

В результаті компонування повинні бути визначені геометричні розміри, форма, орієнтовна маса вироби і взаємне розташування всіх елементів в конструкції.

При розробці компоновки радіотехнічного виробу враховують складну сукупність факторів, пов'язаних з особливостями функціонування в експлуатації виробу, електричними взаємозв'язками і тепловими режимами всередині РЕА, геометричними розмірами і формою окремих елементів конструкції.

Тому необхідно виконувати наступні вимоги:

а) між окремими елементами, вузлами, блоками, приладами повинні бути відсутніми паразитні електричні взаємозв'язки, які можуть істотно змінити характер корисних взаємозв'язків і порушити нормальне функціонування виробу;

б) теплові поля, що виникають в РЕА внаслідок перегріву окремих елементів, не повинні погіршувати технічні характеристики апаратури;

в) необхідно забезпечити легкий доступ до деталей, вузлів, блоків в конструкції для контролю, ремонту та обслуговування, враховуючи розташування елементів, конструкція повинна також забезпечувати технологічність монтажу і збірки з урахуванням використання автоматизації цих процесів;

г) габарити і маса виробу повинні бути мінімально можливими.

Паразитні зворотні зв'язки визначаються взаємним розташуванням окремих частин конструкції і з'єднуючих їх провідників і можуть виникати не тільки між окремими елементами, але і між вузлами, блоками, приладами, що порушує стійкість роботи будь-якої радіотехнічної схеми [9].

В результаті отримали плату (рис.2.5) з одностороннім розташуванням елементів. Габаритні розміри складають 80х60 мм.

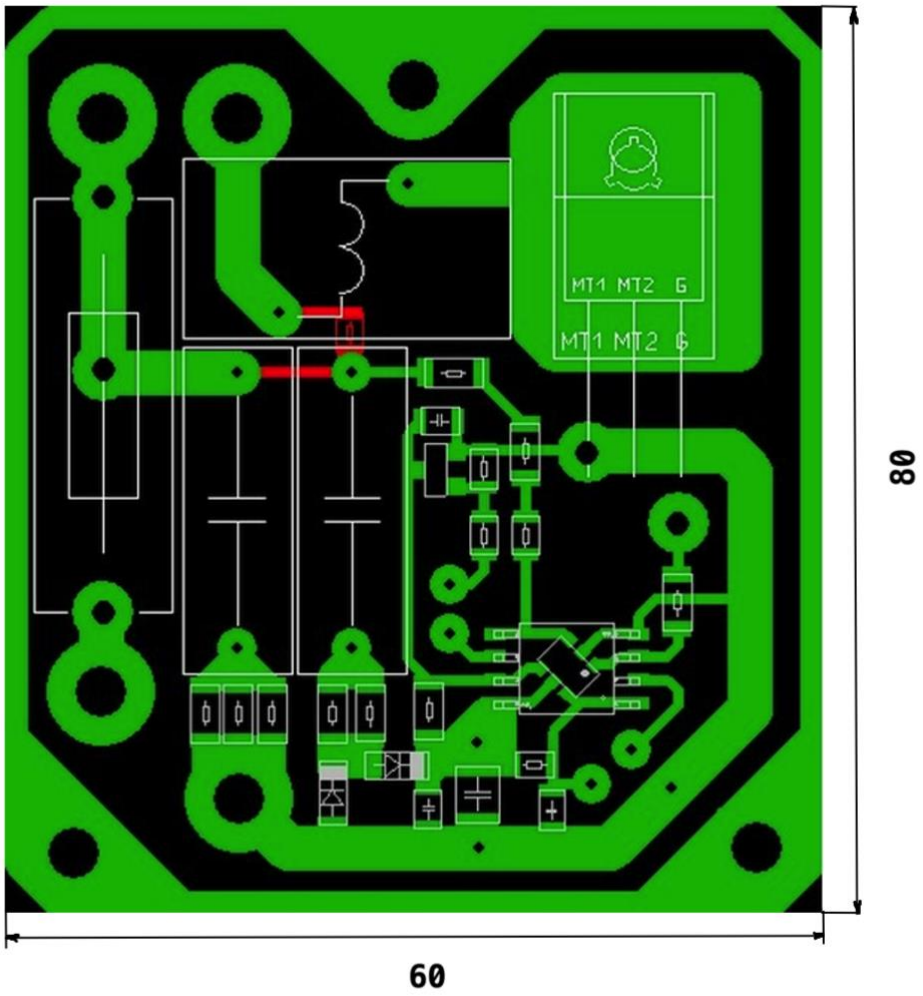


Рисунок 2.5 -Топологія друкованої плати приладу автоматичного регулювання світла

2.6 Розрахунок надійності приладу

Для оцінки надійності електричної схеми керування електричною потужністю використовується спрощений імовірнісний метод. Приймаємо, що відмова будь-якого основного елемента призводить до відмови всього пристрою, тобто схема розглядається як послідовна з точки зору надійності.

Вихідні дані для розрахунку

У схемі враховуються такі основні елементи:

• резистори - 14 шт.;

• конденсатори - 7 шт.;

• діоди - 2 шт.;

• транзистор - 1 шт.;

• мікроконтролер PIC10F200 - 1 шт.;

• симістор BT134/BT139 - 1 шт.;

• з'єднувальний елемент / перемичка - 1 шт.;

Таблиця 2.1- Ссередні значення інтенсивності відмов елементів за нормальних умов експлуатації

Елемент	Кількість, шт.	Інтенсивність відмов одного елемента, λ_i, 1/год	Загальна інтенсивність, 1/год
Резистор	14	$0{,}02 \cdot 10^{-6}$	$0{,}28 \cdot 10^{-6}$
Конденсатор	7	$0{,}10 \cdot 10^{-6}$	$0{,}70 \cdot 10^{-6}$
Діод	2	$0{,}03 \cdot 10^{-6}$	$0{,}06 \cdot 10^{-6}$
Транзистор	1	$0{,}08 \cdot 10^{-6}$	$0{,}08 \cdot 10^{-6}$
PIC10F200	1	$0{,}12 \cdot 10^{-6}$	$0{,}12 \cdot 10^{-6}$
Симістор BT134/BT139	1	$0{,}15 \cdot 10^{-6}$	$0{,}15 \cdot 10^{-6}$
Перемичка / контактний вузол	1	$0{,}05 \cdot 10^{-6}$	$0{,}05 \cdot 10^{-6}$

1. Сумарна інтенсивність відмов

Для послідовної системи сумарна інтенсивність відмов визначається як сума інтенсивностей відмов усіх елементів:

$$\lambda_\Sigma = \Sigma\lambda_i$$

Підставимо значення:

$$\lambda_\Sigma = 0{,}28\cdot10^{-6} + 0{,}70\cdot10^{-6} + 0{,}06\cdot10^{-6} + 0{,}08\cdot10^{-6} + 0{,}12\cdot10^{-6} + 0{,}15\cdot10^{-6} + 0{,}05\cdot10^{-6}$$

$$\lambda_\Sigma = 1{,}44\cdot10^{-6}\ 1/\text{год}$$

2. Імовірність безвідмовної роботи

Імовірність безвідмовної роботи для експоненційного закону розподілу визначається за формулою:

$$P(t) = \exp(-\lambda_\Sigma \cdot t)$$

де t - час роботи, год; λ_Σ - сумарна інтенсивність відмов.

Для 1000 годин роботи:

$$P(1000) = \exp(-1{,}44\cdot10^{-6}\cdot1000) = \exp(-0{,}00144)$$

$$P(1000) \approx 0{,}9986$$

Для 5000 годин роботи:

$$P(5000) = \exp(-1{,}44\cdot10^{-6}\cdot5000) = \exp(-0{,}0072)$$

$$P(5000) \approx 0{,}9928$$

Для 10000 годин роботи:

$$P(10000) = \exp(-1{,}44\cdot10^{-6}\cdot10000) = \exp(-0{,}0144)$$

$$P(10000) \approx 0{,}9857$$

3. Середній напрацювання на відмову

Середній напрацювання на відмову визначається за формулою:

$$T_{ср} = 1 / \lambda_\Sigma$$

$$T_{ср} = 1 / (1{,}44\cdot10^{-6}) \approx 694444 \text{ год}$$

Отже, середній напрацювання на відмову становить приблизно $6{,}94\cdot10^5$ год, або близько 79,3 року.

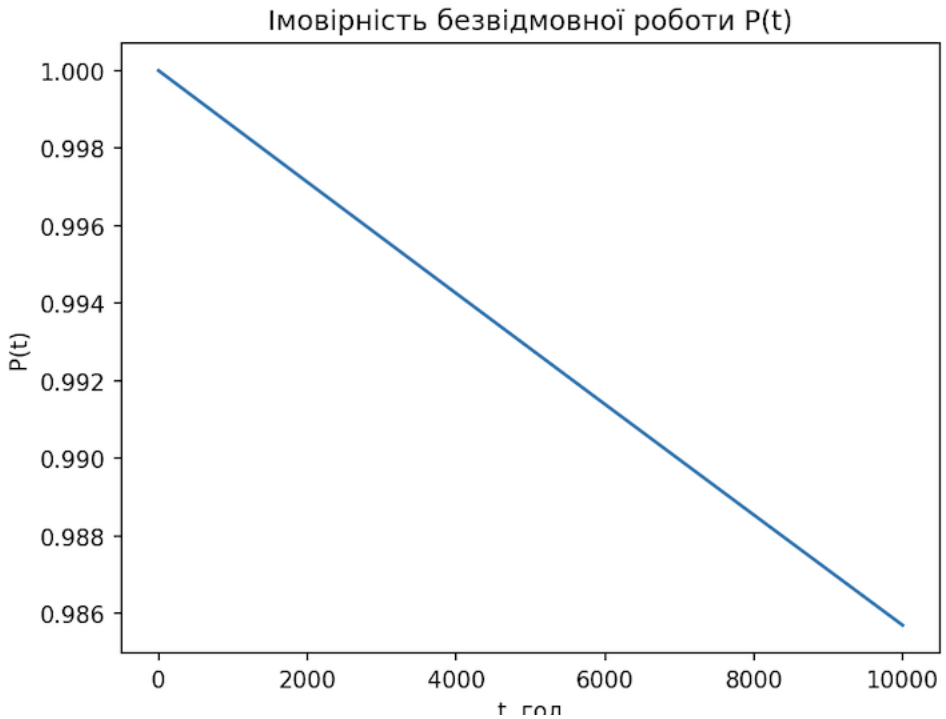
ФОРМУЛИ РОЗРАХУНКУ НАДІЙНОСТІ ЕЛЕКТРИЧНОЇ СХЕМИ

Лист містить основні вихідні параметри, формули та результати, використані для побудови графіків.

Параметр	Позначення	Формула / опис	Значення	Одиниця
Сумарна інтенсивність відмов	**λΣ**	0,00000144	1,44E-06	1/год
Час роботи 1	**t1**	Для першої контрольної точки	1000	год
Час роботи 2	**t2**	Для другої контрольної точки	5000	год
Час роботи 3	**t3**	Для третьої контрольної точки	10000	год

Розрахункові формули				
Імовірність безвідмовної роботи для t1	**P(t1)**	P(t)=EXP(-λΣ·t)	0,9986	-
Імовірність безвідмовної роботи для t2	**P(t2)**	P(t)=EXP(-λΣ·t)	0,9928	-
Імовірність безвідмовної роботи для t3	**P(t3)**	P(t)=EXP(-λΣ·t)	0,9857	-
Імовірність відмови для t1	**Q(t1)**	Q(t)=1-P(t)	0,0014	-
Імовірність відмови для t2	**Q(t2)**	Q(t)=1-P(t)	0,0072	-
Імовірність відмови для t3	**Q(t3)**	Q(t)=1-P(t)	0,0143	-
Середнє напрацювання на відмову	**Tср**	Tср=1/λΣ	694444	год

Формули, використані для побудови графіків				
Інтенсивність відмов	**λ(t)**	λ(t)=λΣ	1,44E-06	1/год
Імовірність безвідмовної роботи	**P(t)**	P(t)=EXP(-λΣ·t)		-
Імовірність відмови	**Q(t)**	Q(t)=1-EXP(-λΣ·t)		-



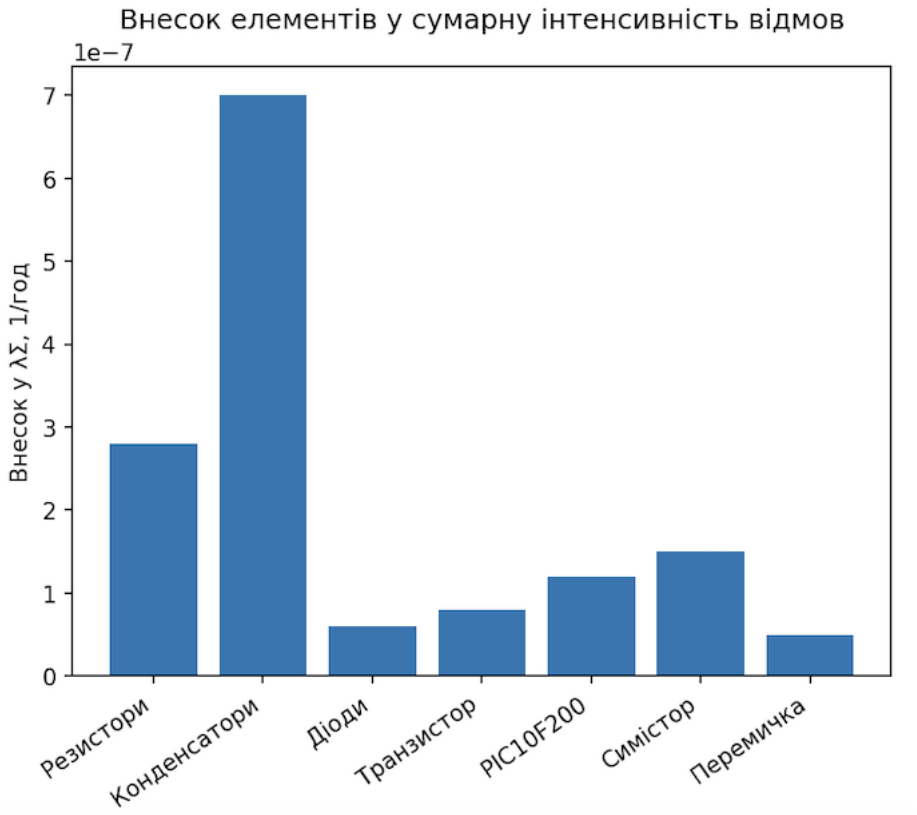


Рисунок 2.6 -Результати розрахунку параметрів надійності

4. Аналіз результатів

Отримані результати показують, що за нормальних умов експлуатації схема має високу ймовірність безвідмовної роботи.

Найбільший внесок у сумарну інтенсивність відмов дають конденсатори, симістор та мікроконтролер, оскільки саме ці елементи працюють у більш напружених режимах або є конструктивно складнішими.

У реальних умовах експлуатації надійність може знижуватися через підвищену температуру, імпульсні перенапруги в мережі 220 В, недостатнє охолодження симістора, старіння конденсаторів, вологість, пил та неякісний монтаж.

5. Висновок до розрахунку

У результаті розрахунку було визначено, що сумарна інтенсивність відмов електричної схеми становить:

$$\lambda_{\Sigma} = 1{,}44 \cdot 10^{-6}\ 1/\text{год}$$

Середній напрацювання на відмову:

$$Tср \approx 694444\ \text{год}$$

Імовірність безвідмовної роботи приладу становить:

• за 1000 годин - 0,9986;

• за 5000 годин - 0,9928;

• за 10000 годин - 0,9857.

Отже, дана схема є достатньо надійною для тривалої експлуатації за умови правильного вибору елементів, забезпечення належного теплового режиму та захисту від перенапруг у мережі.

3 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ТЕХНОГЕННА БЕЗПЕКА

Науково-технічний прогрес зумовив серйозні зміни в умови виробничої діяльності працівників розумової праці. Їх праця стала більш інтенсивним, напруженим, які вимагають значних витрат розумової, емоційної і фізичної енергії. Це зажадало комплексного рішення проблем ергономіки, гігієни і організації праці, регламентації режимів праці і відпочинку.

В даний час комп'ютерна техніка широко застосовується у всіх областях діяльності людини. При роботі з комп'ютером людина піддається дії ряду небезпечних і шкідливих виробничих факторів: електромагнітних полів (діапазон радіочастот: ВЧ, УВЧ і СВЧ), інфрачервоного і іонізуючого випромінювань, шуму і вібрації, статичної електрики і ін .

Робота з комп'ютером характеризується значною розумовою напругою і нервово-емоційним навантаженням операторів, високою напруженістю зорової роботи і достатньо великим навантаженням на м'язи рук при роботі з клавіатурою ЕОМ. Велике значення має раціональна конструкція і розташування елементів робочого місця, що важливо для підтримки оптимальної робочої пози людини-оператора.

У процесі роботи з комп'ютером необхідно дотримувати правильний режим праці та відпочинку. В іншому випадку у персоналу наголошуються значна напруга зорового апарату з появою скарг на незадоволеність роботою, головні болі, дратівливість, порушення сну, втому і хворобливі відчуття в очах, в попереку, в області шиї і руках.

3.1 Вимоги до виробничого приміщення

Забарвлення приміщень і меблів повинна сприяти створенню сприятливих умов для зорового сприйняття, гарного настрою.

Джерела світла, такі як світильники і вікна, які дають віддзеркалення від поверхні екрану, значно погіршують точність знаків і тягнуть за собою перешкоди фізіологічного характеру, які можуть виразитися в значній напрузі, особливо при тривалій роботі. Відображення, включаючи відображення від вторинних джерел світла, повинне бути зведено до мінімуму.

Для захисту від надмірної яскравості вікон можуть бути застосовані штори і екрани. Залежно від орієнтації вікон рекомендується наступне забарвлення стін і підлоги:

- Вікна орієнтовані на південь: - стіни зеленувато-блакитного або світло-блакитного кольору; підлога - зелений;
- вікна орієнтовані на північ: - стіни світло-оранжевого або оранжево-жовтого кольору; підлога - червонувато-оранжевий;
- вікна орієнтовані на схід: - стіни жовто-зеленого кольору; підлога зелена або червонувато-оранжевий;
- вікна орієнтовані на захід: - стіни жовто-зеленого або голубувато-зеленого кольору; підлога зелена або червонувато-оранжевий.

У приміщеннях, де знаходиться комп'ютер, необхідно забезпечити наступні величини коефіцієнта віддзеркалення: для стелі: 60-70%, для стін: 40-50%, для підлоги: близько 30%. Для інших поверхонь і робочих меблів: 30-40%. [14]

Правильно спроектоване і виконане виробниче освітлення покращує умови зорової роботи, знижує стомлюваність, сприяє підвищенню продуктивності праці, благотворно впливає на виробниче середовище,

надаючи позитивну психологічну дію на працюючого, підвищує безпеку праці і знижує травматизм.

Недостатність освітлення призводить до напруги зору, послаблює увагу, приводить до настання передчасної стомленості. Надмірно яскраве освітлення викликає осліплення, роздратування і різь в очах.

Неправильний напрямок світла на робочому місці може створювати різкі тіні, відблиски, дезорієнтувати працюючого. Всі ці причини можуть призвести до нещасного випадку або профзахворювань, тому настільки важливий правильний розрахунок освітленості.

Існує три види освітлення - природне, штучне і поєднане (природне і штучне разом).

Природне освітлення - освітлення приміщень денним світлом, що потрапляє через світлові прорізи в зовнішніх огороджувальних конструкціях приміщень.

Природне освітлення характеризується тим, що змінюється в широких межах залежно від часу дня, пори року, характеру області і ряду інших чинників.

Штучне освітлення застосовується при роботі в темний час доби і вдень, коли не вдається забезпечити нормовані значення коефіцієнта природного освітлення (похмура погода, короткий світловий день).

Освітлення, при якому недостатнє за нормами природне освітлення доповнюється штучним, називається змішаним освітленням.

Штучне освітлення підрозділяється на робоче, аварійне, евакуаційне, охоронне. Робоче освітлення, у свою чергу, може бути загальним або комбінованим. Загальне - освітлення, при якому світильники розміщуються у верхній зоні приміщення рівномірно або стосовно до розташування обладнання. Комбіноване - освітлення, при якому до загального додається місцеве освітлення.

При виконанні робіт категорії високої зорової точності (найменший розмір об'єкта розрізнення 0,3 ... 0,5 мм) величина коефіцієнта природного

освітлення (КПО) повинна бути не нижче 1,5%, а при зоровій роботі середньої точності (найменший розмір об'єкта розрізнення 0,5 ... 1,0 мм) КЕО повинен бути не нижче 1,0%. Як джерела штучного освітлення звичайно використовуються люмінесцентні лампи типу ЛБ, або ДРЛ, які попарно об'єднуються в світильники, які повинні розташовуватися рівномірно над робочими поверхнями. [15]

Вимоги до освітленості в приміщеннях, де встановлені комп'ютери, наступні: при виконанні зорових робіт високої точності загальна освітленість повинна складати 300лк, а комбінована - 750лк; аналогічні вимоги при виконанні робіт середньої точності - 200 і 300лк відповідно.

Крім того все поле зору повинне бути освітлено достатньо рівномірно - ця основна гігієнічна вимога. Іншими словами, ступінь освітлення приміщення і яскравість екрану комп'ютера повинні бути приблизно однаковими, тому що яскраве світло в районі периферійного зору значно збільшує напруженість очей і, як наслідок, призводить до їх швидкої стомлюваності.

3.2 Параметри мікроклімату

Параметри мікроклімату можуть змінюватися в широких межах, в той час як необхідною умовою життєдіяльності людини є підтримка постійності температури тіла завдяки терморегуляції, тобто здатності організму регулювати віддачу тепла в навколишнє середовище. Принцип нормування мікроклімату - створення оптимальних умов для теплообміну тіла людини з навколишнім середовищем.

Обчислювальна техніка є джерелом істотних тепловиділень, що може привести до підвищення температури і зниження відносної вологості в приміщенні. У приміщеннях, де встановлені комп'ютери, повинні

дотримуватися певні параметри мікроклімату. У санітарних нормах СН-245-71 встановлені величини параметрів мікроклімату, що створюють комфортні умови. Ці норми встановлюються в залежності від пори року, характеру трудового процесу і характеру виробничого приміщення (див. табл. 3.1)

Обсяг приміщень, в яких розміщені працівники обчислювальних центрів, не повинен бути менше 19,5м^3 / людина з урахуванням максимального числа одночасно працюючих в зміну. Норми подачі свіжого повітря в приміщення, де розташовані комп'ютери, приведені в таблицю. 3.1.

Таблиця 3.1 Параметри мікроклімату для приміщень, де встановлені комп'ютери [16]

Період року	Параметр мікроклімату	Величина
Холодний	Температура повітря в приміщенні	22…24°С
	Відносна вологість	40…60%
	Швидкість руху повітря	до 0,1м/с
Теплий	Температура повітря в приміщенні	23…25°С
	Відносна вологість	40…60%
	Швидкість руху повітря	0,1…0,2м/с

Таблиця 3.2 - Норми подачі свіжого повітря в приміщення, де розташовані комп'ютери

Характеристика приміщення	Об'ємна витрата подаваного в приміщення свіжого повітря, м3 / на одну людину в годину
Обсяг до 20м3 на людину	Не менш 30
20 ... 40м3 на людину	Не менш 20
Більш 40м3 на людину	Природна вентиляція

Для забезпечення комфортних умов використовуються як організаційні методи (раціональна організація проведення робіт залежно від пори року і доби, чергування праці і відпочинку), так і технічні засоби (вентиляція, кондиціонування повітря, опалювальна система).

3.3 Шум і вібрація

Шум погіршує умови праці здійснюючи шкідливу дію на організм людини. Працюючі в умовах тривалої шумової дії випробовують дратівливість, головні болі, запаморочення, зниження пам'яті, підвищену стомлюваність, зниження апетиту, біль у вухах і т. Д. Такі порушення в роботі ряду органів і систем організму людини можуть викликати негативні зміни в емоційному стані людини аж до стресових. Під впливом шуму знижується концентрація уваги, порушуються фізіологічні функції, з'являється втома у зв'язку з підвищеними енергетичними витратами і нервово-психічним напруженням, погіршується мовна комутація. Все це знижує працездатність людини і його продуктивність, якість і безпеку праці. Тривала дія інтенсивного шуму [вище 80 дБ (А)] на слух людини приводить до його часткової або повної втрати. [17]

У табл. 3.3 вказані граничні рівні звуку залежно від категорії тяжкості і напруженості праці, що є безпечними відносно збереження здоров'я і працездатності.

Таблиця 3.3 - Граничні рівні звуку, дБ, на робочих місцях

Категорія напруженості праці	Категорія важкості праці			
	Легка	Середня	Важка	Дуже важка
I. Мало напружений	80	80	75	75

II. помірно напружений	70	70	65	65
III. напружений	60	60	-	-
IV. дуже напружений	50	50	-	-

Рівень шуму на робочому місці математиків-програмістів і операторів відеоматеріалів не повинен перевищувати 50дБА, а в залах обробки інформації на обчислювальних машинах - 65дБА. Для зниження рівня шуму стіни і стеля приміщень, де встановлені комп'ютери, можуть бути облицьовані звукопоглинальними матеріалами. Рівень вібрації в приміщеннях обчислювальних центрів може бути понижений шляхом встановлення устаткування на спеціальні віброізолятори.

3.4 Електромагнітне і іонізуюче випромінювання

Більшість вчених вважають, що як короткочасне, так і тривалий вплив усіх видів випромінювання від екрану монітора не небезпечно для здоров'я персоналу, який обслуговує комп'ютери. Проте вичерпних даних щодо небезпеки дії випромінювання від моніторів на працюючих з комп'ютерами не існує і дослідження в цьому напрямку тривають.

Допустимі значення параметрів неіонізуючих електромагнітних випромінювань від монітора комп'ютера представлені в табл. 3.4.

Максимальний рівень рентгенівського випромінювання на робочому місці оператора комп'ютера звичайно не перевищує 10мкбер / ч, а інтенсивність ультрафіолетового і інфрачервоного випромінювань від екрану монітора лежить в межах 10-100мВт / м^2.

Таблиця 3.4 - Допустимі значення параметрів неіонізуючих електромагнітних випромінювань [18]

Найменування параметру	Допустимі значення
Напруженість електричної складової електромагнітного поля на відстані 50см від поверхні відеомонітора	10В/м
Напруженість магнітної складової електромагнітного поля на відстані 50см від поверхні відеомонітора	0,3А/м
Напруженість електростатичного поля не повинна перевищувати: для дорослих користувачів для дітей дошкільних установ і учнів середніх спеціальних і вищих навчальних закладів	20кВ/м 15кВ/м

Для зниження впливу цих видів випромінювання рекомендується застосовувати монітори із зниженим рівнем випромінювання (MPR-II, TCO-92, TCO-99), встановлювати захисні екрани, а також дотримуватися регламентовані режими праці та відпочинку.

3.5 Режим праці

Як вже було неодноразово відзначено, при роботі з персональним комп'ютером дуже важливу роль грає дотримання правильного режиму праці і відпочинку. В іншому випадку у персоналу наголошуються значна напруга зорового апарату з появою скарг на незадоволеність роботою, головні болі, дратівливість, порушення сну, втому і хворобливі відчуття в очах, в попереку, в області шиї і руках.

Таблиця 3.5 - Час регламентованих перерв при роботі на комп'ютері

Категорія роботи з ВДТ або ПЕОМ	Рівень навантаження за робочу зміну при видах роботи з ВДТ, кількість знаків	Сумарний час регламентованих перерв, хв	
		При 8-годинній зміні при 12-годинній зміні	При 8-годинній зміні при 12-годинній зміні
Група А	до 20000	30	70
Група Б	до 40000	50	90
Група В	до 60000	70	120

Примітка. Час перерв дано при дотриманні зазначених Санітарних правил і норм. У разі невідповідності фактичних умов праці вимогам Санітарних правил і норм час регламентованих перерв слід збільшити на 30%.

Ефективність перерв підвищується при поєднанні з виробничою гімнастикою або організації спеціального приміщення для відпочинку персоналу із зручними м'якими меблями, акваріумом, зеленою зоною і т.п.

3.6 Розрахунок освітленості

Розрахунок освітленості робочого місця зводиться до вибору системи освітлення, визначенню необхідного числа світильників, їхнього типу і розміщення. Виходячи з цього, розрахуємо параметри штучного освітлення.

Зазвичай штучне освітлення виконується за допомогою електричних джерел світла двох видів: ламп розжарювання і люмінесцентних ламп. Будемо використовувати люмінесцентні лампи, які в порівнянні з лампами розжарювання мають ряд істотних переваг:

- по спектрального складу світла вони близькі до денного, природного світла;
- володіють більш високим ККД (у 1,5-2 рази вище, ніж ККД ламп розжарювання);
- мають підвищену світловіддачею (в 3-4 рази вище, ніж у ламп розжарювання);
- більш тривалий термін служби.

Розрахунок освітлення проводиться для кімнати площею 15м^2, ширина якої - 5м, висота - 3 м. Скористаємося методом світлового потоку.

Для визначення кількості світильників визначимо світловий потік, падаючий на поверхню за формулою: [19]

$$F = E \cdot S \cdot Z \cdot \frac{K}{n} \quad (3.1)$$

Де F - розраховується світловий потік.

E - нормована мінімальна освітленість, Лк (визначається за таблицею). Роботу програміста, відповідно до цієї таблиці, можна віднести до розряду точних робіт, отже, мінімальна освітленість буде E = 300Лк;

S - площа освітлюваного приміщення (у нашому випадку S = 15м2);

Z - відношення середньої освітленості до мінімальної (зазвичай приймається рівним 1,1-1,15, нехай Z = 1,1);

K - коефіцієнт запасу, що враховує зменшення світлового потоку лампи в результаті забруднення світильників у процесі експлуатації (його значення залежить від типу приміщення і характеру проведених в ньому робіт і в нашому випадку K = 1,5);

n - коефіцієнт використання, (виражається відношенням світлового потоку, що падає на розрахункову поверхню, до сумарного потоку всіх ламп і обчислюється в частках одиниці; залежить від характеристик світильника, розмірів приміщення, фарбування стін і стелі, які характеризуються

коефіцієнтами відображення від стін (РС) і стелі (РП)), значення коефіцієнтів РС і РП були вказані вище: РС = 40%, РП = 60%. Значення n визначимо по таблиці коефіцієнтів використання різних світильників. [20]

Для цього обчислимо індекс приміщення по формулі:

$$I = \frac{A \cdot B}{h(A+B)} \tag{3.2}$$

де h - розрахункова висота підвісу, h = 2,92 м;

А - ширина приміщення, А = 3 м;

В - довжина приміщення, В = 5 м.

Підставивши значення отримаємо: I= 0,642.

Знаючи індекс приміщення I, за таблицею знаходимо n = 0,22.

Підставимо всі в формулу значення в для визначення світлового потоку F, отримуємо F = 33750 Лм.

Для освітлення вибираємо люмінесцентні лампи типу ЛБ40-1, світловий потік яких F л = 4320 Лк.

Розрахуємо необхідну кількість ламп по формулі:

$$N = \frac{F}{Fл} \tag{3.3}$$

де N - обумовлений число ламп; F - світловий потік, F = 33750 Лм; Fл- світловий потік лампи, Fл = 4320 Лм. N = 8 ламп.

3.7 Розрахунок рівня шуму

Одним з несприятливих факторів виробничого середовища в є високий рівень шуму, створюваний друкованими пристроями, устаткуванням для кондиціонування повітря, вентиляторами систем охолодження.

Для вирішення питань про необхідність і доцільність зниження шуму необхідно знати рівні шуму на робочому місці оператора.

Рівень шуму, що виникає від декількох некогерентних джерел, що працюють одночасно, підраховується на підставі принципу енергетичного підсумовування випромінювань окремих джерел:

$$\sum L = 10 \cdot lg\,(li \cdot n) \tag{3.4}$$

де Li - рівень звукового тиску і-го джерела шуму;
n - кількість джерел шуму.

Отримані результати розрахунку порівнюється з допустимим значенням рівня шуму для даного робочого місця. Якщо результати розрахунку вище допустимого значення рівня шуму, то необхідні спеціальні заходи щодо зниження шуму. До них відносяться: облицювання стін і стелі залу звукопоглинальними матеріалами, зниження шуму в джерелі, правильне планування устаткування і раціональна організація робочого місця оператора.

Рівні звукового тиску джерел шуму, що діють на оператора на його робочому місці представлені в таблиці 3.6.

Таблиця 3.6 - Рівні звукового тиску різних джерел

Джерело шуму	Рівень шуму, дБ
Жорсткий диск	40
вентилятор	45
монітор	17
клавіатура	10
принтер	45
сканер	42

Зазвичай робоче місце оператора оснащено наступним устаткуванням: вінчестер в системному блоці, та систем охолодження ПК, монітор, клавіатура, принтер і сканер.

Підставивши значення рівня звукового тиску для кожного виду обладнання в формулу (3.5), отримаємо:

$$\sum L = 10 \cdot \lg(104 + 104{,}5 + 101{,}7 + 101 + 104{,}5 + 104{,}2) = 49{,}5 \text{ дБ} \quad (3.5)$$

Отримане значення не перевищує допустимий рівень шуму для робочого місця оператора, рівний 65 дБ. І якщо врахувати, що навряд чи такі периферійні пристрої як сканер і принтер будуть використовуватися одночасно, то ця цифра буде ще нижче. Крім того при роботі принтера безпосереднє присутність оператора необов'язково, тому що принтер забезпечений механізмом автоподачі аркушів. [19]

В даному розділі кваліфікаційної роботи були викладені вимоги до робочого місця інженера - програміста. Створені умови повинні забезпечувати комфортну роботу. На підставі вивченої літератури по даній проблемі, були зазначені оптимальні розміри робочого столу і крісла, робочої поверхні, а також проведено вибір системи і розрахунок оптимального освітлення виробничого приміщення, проведений розрахунок раціонального кондиціонування приміщення, а також розрахунок рівня шуму на робочому місці. Дотримання умов, що визначають оптимальну організацію робочого місця інженера - програміста, дозволить зберегти гарну працездатність протягом усього робочого дня, підвищить як в кількісному, так і в якісному відносинах продуктивність праці програміста, що в свою чергу сприятиме якнайшвидшій розробці і налагодженню програмного продукту.

ВИСНОВКИ ТА РЕКОМЕНДАЦІЇ

Проведений літературний аналіз показав, що саме пристрої керування електричною потужністю на основі мікроконтролерів дозволяють поєднати силову електроніку з алгоритмічним керуванням, автоматикою та цифровою обробкою сигналів.

Розроблений прилад є ефективним мікроконтролерним регулятором потужності, що використовує фазове керування симістором. Він поєднує в собі простоту реалізації, відсутність трансформатора живлення та можливість гнучкого керування навантаженням. Розраховані габаритні розміри складають 80 × 60 мм. Проведений розрахунок параметрів надійності показав, що прилад є достатньо надійним для тривалої експлуатації за умови правильного вибору елементів, забезпечення належного теплового режиму та захисту від перенапруг у мережі.

Запропонований прилад може використовуватися як в побуті так і на виробництві для регулювання рівня освітленості на робочому місці.

ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАННОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Державне агентство з енергоефективності та енергозбереження України. Енергоефективність в Україні. URL: https://saee.gov.ua/diialnist/enerhoefektyvnist (дата звернення: 07.01.2026).

2. International Energy Agency. Energy Efficiency 2023. URL: https://www.iea.org/reports/energy-efficiency-2023 (date of access: 13.01.2026).

3. Екополітика. Досягнення у сфері енергоефективності за останні 10 років. URL: https://ecopolitic.com.ua/ua/news/v-mea-nazvali-zdobutki-u-sferi-energoefektivnosti-za-10-rokiv/ (дата звернення: 29.02.2026).

4. РБК-Україна. Потенціал енергозбереження економіки України. URL: https://www.rbc.ua/ukr/news/uei-ezhegodnyy-potentsial-energosberezheniya-ekonomiki-ukrainy-13102011135900.html (дата звернення: 01.03.2026).

5. Міністерство енергетики України. Енергетична стратегія України до 2050 року. URL: https://mev.gov.ua (дата звернення: 01.03.2026).

6. United Nations. Sustainable Development Goal 7: Affordable and Clean Energy. URL: https://sdgs.un.org/goals/goal7 (date of access: 01.03.2026).

7. Закон України «Про енергозбереження» від 01.07.1994 № 74/94-ВР. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/74/94-вр (дата звернення: 05.03.2026).

8. European Commission. Energy efficiency in the European Union. URL: https://energy.ec.europa.eu/topics/energy-efficiency_en (date of access: 05.03.2026).

9. BP Statistical Review of World Energy 2023. URL: https://www.bp.com/en/global/corporate/energy-economics/statistical-review-of-world-energy.html (date of access: 07.04.2026).

10. Закон України «Про енергетичну ефективність» від 21.10.2021 № 1818-IX . URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1818-20 (дата звернення: 07.04.2026).

11. Бондаренко І. М., Бородін О. В., Галат О. Б., Карнаушенко В. П. Твердотільна електроніка, навч. посіб. Харків: ХНУРЕ, 2020. 236 с.

12. Кравченко В.О., Лисенко В.В. Електроніка та мікросхемотехніка: методичні вказівки до самостійної роботи. Суми, 2024. 84 с.

13. Електронні пристрої та технології для промисловості, енергозбереження та екологічних напрямів: монографія/ під заг. ред. д.т.н., проф. Критської Т.В. Одеса: Олді +. 2023. 154 с.

14. Дружинін А.О. Твердотільна електроніка. Фізичні основи і властивості напівпровідникових приладів: навч. посібник / А.О. Дружинін. Львів: Видавництво Національного університету «Львівська політехніка», 2019. 332 с.

15. Виготовлення друкованих плат для електроніки. URL: https://renome.biz/uk/index.php?route=news/article&news_id=61 (дата звернення квітень 2026 р.).

16. Виробнича санітарія та гігієна. URL: https://pidru4niki.com/15060913/bzhd/virobnicha_sanitariya_gigiyena (дата звернення: квітень 2026 р.).

17. Про затвердження правил пожежної безпеки в Україні. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0252-15/ed20230407#Text (дата звернення: травень 2026 р.).

18. ДБН В 1.1-7:2016 Пожежна безпека. Загальні вимоги [Чинний від 01.06.2017] Вид. офіц. Київ: Міністерство регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства України, 2017, 38 с.

19. Основи охорони праці: навч. посіб. / Р.М. Івах та ін. 4-те вид. Київ: Кондор, 2010. 464 с.

20. Правила улаштування електроустановок: затв. Наказом Міністерства енергетики та вугільної промисловості України від 20 червня 2014 р. №469. 793 с.