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 поворотної системи для підвищення енергоефективності функціонування сонячних панелей*

Виконав: студент (ка) *IV* курсу, групи *6.1532*

Спеціальності *153 (176) Мікро- та наносистемна техніка*
(код і назва спеціальності)

освітньої програми *Мікро- та наносистемна техніка*
(код і назва освітньої програми)

В. В. Гілянський
(ініціали та прізвище)

Керівник *доцент кафедри ЕІСПЗ, доцент, к.т.н.*
Верьовкін Л. Л.
(посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)

Рецензент *професор кафедри електричної інженерії та кіберфізичних систем, професор, д.т.н.*
Коваленко В. Л.
(посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)

м. Запоріжжя
2026

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

Кафедра *електроніки, інформаційних систем та програмного забезпечення*
Рівень вищої освіти *перший (бакалаврський)*
Спеціальність *153 (176) Мікро- та наносистемна техніка*
(код і назва)

Освітня програма *Мікро- та наносистемна техніка*
(код і назва)

Спеціалізація _____

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри *ЕІСПЗ*
Критська Т. В.
"*12*" *червня* 20*26* року

З А В Д А Н Н Я
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ СТУДЕНТОВІ

Гілянському Віталію Вікторовичу
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи *Розробка поворотної системи для підвищення енергоефективності функціонування сонячних панелей*

керівник роботи *Верьовкін Леонід Леонідович, доцент, к.т.н.*
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)
затверджені наказом ЗНУ від *"23" грудня 2025 року №1830-с*
2. Строк подання студентом роботи *12 червня 2026 року*
3. Вихідні дані до роботи *Одновісна поворотна система слідкування за Сонцем*

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити): *Дослідження алгоритмів функціонування та схемних рішень поворотних систем стеження за Сонцем. Розробка електронної частини поворотної системи пристрою слідкування за Сонцем. Охорона праці та техногенна безпека при розробці поворотної системи слідкування за Сонцем*
5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень) *Функціональна схема пристрою слідкування за сонцем. Аналіз функціонування генератора імпульсів та схеми інтегруючого кола. Функціональна схема пристрою слідкування за сонцем. Схема електрична принципова поворотної системи для підвищення енергоефективності функціонування сонячних панелей.*

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата завдання прийняв
I	*Верьовкін Л. Л., доцент*	
II	*Верьовкін Л. Л., доцент*	
III	*Верьовкін Л. Л., доцент*	

7. Дата видачі завдання *09.02.2026 року*

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи бакалавра	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	*Дослідження енергоефективності поворотних пристроїв стеження за Сонцем*	*28.02.2026*	
2	*Аналіз принципу функціонування пристроїв стеження за Сонцем*	*21.03.2026*	
3	*Розробка схеми цифрового генератора тактових імпульсів*	*04.04.2026*	
4	*Розробка схеми інтегруючого кола*	*25.04.2026*	
5	*Аналіз та розробка функціонування компаратора*	*08.05.2026*	
6	*Дослідження функціонування пристрою слідкування за Сонцем*	*20.05.2026*	
8	*Охорона праці та техногенна безпека при розробці поворотної системи слідкування за Сонцем*	*23.05.2026*	
9	*Оформлення пояснювальної записки*	*10.06.2026*	
10	*Рецензування, нормоконтроль, підписання роботи*	*12.06.2026*	
11	*Оприлюднений захист бакалаврської роботи*	*18.06.2026*	

Студент _____ _____ *Гілянський В. В.*
(підпис) (прізвище та ініціали)

Керівник роботи (проекту) _____ _____ *Верьовкін Л. Л.*
(підпис) (прізвище та ініціали)

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

Реферат

Дипломна робота містить 66 сторінок, 36 рисунків, 1таблиця, 15 джерел літератури.

Об’єкт дослідження – поворотні прилади орієнтації фотоелектричних панелей на Сонце.

Мета роботи – розробка поворотної системи сонячних панелей, для підвищення енергоефективності функціонування.

Задачі роботи – розробити схему електричну, топологію печатної плати та проаналізувати функціонування розробленого приладу.

Методика досліджень – моделювання пристрою за допомогою програмних забезпечень Electronics Workbench 5.12, SPlan 5.0, Layout 4.0.

Короткий виклад результатів досліджень – розроблено електронний пристрій орієнтування сонячних панелей, який дозволяє отримати максимальне засвітлення і підвисити енергоефективність перетворення сонячної енергії.

Результати впроваджень – макет електронного приладу пройшов випробовування на кафедрі ЕІСПЗ.

Прогнозні пропозиції – рекомендується для впровадження в геліоустановках.

ЕНЕРГІЯ, ФОТОТРАНЗИСТОР, СОНЯЧНА БАТАРЕЯ, МІКРОСХЕМА, ОПЕРАЦІЙНИЙ ПІДСИЛЮВАЧ, АКУМУЛЯТОР, ТОПОЛОГІЯ

Дипломну роботу виконано на кафедрі електроніки, інформаційних систем та програмного забезпечення, з 09.02.2026 по 12.06.2026.

Зміст

Стор.

Вступ ……. 6

1 Дослідження алгоритмів функціонування та схемних рішень поворотних систем стеження за Сонцем ……..... 8

1.1 Енергоефективність поворотних пристроїв стеження за Сонцем …… 10

1.2 Пасивні поворотні системи стеження за Сонцем …….. 11

1.3 Активні поворотні системи стеження за Сонцем …….. 12

1.4 Аналіз принципу функціонування пристроїв стеження за Сонцем …. 15

1.5 Організація та методи управління сонячним трекером ……. 19

1.6 Вимоги до електронної схеми системи стеження за Сонцем ……... 22

1.8 Вимоги до конструкції пристрою стеження за Сонцем …… 24

2 Розробка електронної частини поворотної системи пристрою слідкування за сонцем ……. ……. 27

2.1 Розробка схеми цифрового генератора тактових імпульсів ……. 28

2.2 Розробка схеми інтегруючого кола ……. 32

2.3 Аналіз та розробка функціонування компаратора ……. 40

2.4 Дослідження функціонування пристрою слідкування за Сонцем …… 44

3 Охорона праці та техногенна безпека при розробці поворотної системи слідкування за Сонцем …….. 50

3.1 Характеристика потенційних небезпечних та шкідливих виробничих факторів …… 50

3.2 Заходи з зменшення впливу небезпечних та шкідливих виробничих факторів …… 52

3.3 Виробнича санітарія …….. 53

3.4 Електробезпека ……..…… 58

3.5 Пожежна та техногенна безпека ……..... 60

3.6 Розрахунок освітлення робочого місця монтажу елементів на плату

поворотної системи …… 61
Висновки та рекомендації …… 64
Перелік посилань…… 65
Додаток А …….

Вступ

Сучасні технології сонячної енергетики постійно розвиваються, пропонуючи все більш ефективні рішення для отримання чистої енергії. Одним із таких інноваційних рішень є інтелектуальні сонячні інвертори, які оптимізують роботу фотоелектричних систем. Поворотні системи здатні суттєво підвищити вироблення електроенергії завдяки оптимальному позиціонуванню фотоелектричних панелей відносно Сонця.

Сонячні трекери для панелей – це спеціальні динамічні системи кріплення, які автоматично змінюють положення сонячних модулів протягом дня, підтримуючи оптимальний кут нахилу відносно сонячних променів. На відміну від статичних систем кріплення, трекери забезпечують постійне стеження за рухом Сонця, що дозволяє максимізувати кількість сонячного випромінювання, яке поглинається фотоелектричними модулями.

Головна функція сонячного трекера – це забезпечення перпендикулярного розташування сонячних панелей відносно сонячних променів упродовж усього дня. Це дозволяє:

- збільшити вироблення електроенергії на 25-45% порівняно зі статичними системами;
- забезпечити рівномірну генерацію енергії від сходу до заходу Сонця;
- оптимізувати використання площі для розміщення сонячних батарей;
- підвищити ефективність роботи сонячної електростанції у ранкові та вечірні години.

Використання сонячних трекерів особливо ефективне в комерційних проектах, де максимальна продуктивність є пріоритетом, а вартість земельної ділянки висока.

Принцип роботи сонячних трекерів базується на використанні спеціальних механізмів і сенсорів, які відстежують положення сонця. Залежно від типу трекера, система може використовувати:

- фотодатчики, які реагують на інтенсивність сонячного випромінювання

- програмні алгоритми, які розраховують оптимальний кут нахилу відповідно до часу доби, пори року та географічного розташування;

- електроприводи, які забезпечують поворот конструкції за потрібним напрямком.

Сучасні сонячні трекери обладнані автоматикою, яка захищає систему від пошкоджень при сильному вітрі, переводячи панелі в безпечне положення.

Актуальним являється підвищення енергоефективності функціонування фотоелектричних джерел живлення. за рахунок точної орієнтації площини сонячних панелей перпендикулярно світловим променям Сонця.

1 Дослідження алгоритмів функціонування та схемних рішень поворотних систем стеження за Сонцем

Існують два основних типи сонячних трекерів: одновісні і двовісні. Кожен з них має свої переваги та особливості застосування.

Одновісні сонячні трекери забезпечують обертання панелей навколо однієї осі, зазвичай за напрямком схід-захід. Це дозволяє слідкувати за сонцем протягом дня, зберігаючи постійний кут нахилу відносно горизонту.

Таким чином, сонце перпендикулярне модулю лише в одній площині. Кращі умови для систем стеження з однією віссю досягаються, якщо вісь паралельна вісі землі. Аби підтримувати точність, ці сонячні системи стеження регулюються уручну, аби компенсувати сезонні екліптичні зрушення, які відбуваються восени, зимою, весною і літом [1].

Основні переваги одноосних трекерів:

- простіша конструкція та нижча ціна порівняно з двовісним;
- висока надійність через меншу кількість рухомих компонентів;
- підвищення продуктивності сонячних панелей на 25-35%;
- менші витрати на обслуговування.

Такі системи ідеально підходять для середніх за розміром сонячних електростанцій та районів з високим рівнем сонячної активності.

Двовісні сонячні трекери забезпечують обертання панелей як за напрямком схід-захід, так і регулювання кута нахилу відносно горизонту. Це дозволяє підтримувати ідеально перпендикулярне положення до сонячних променів упродовж всього дня, незалежно від пори року.

У слідкуючих системах з двома вісями, сонце завжди перпендикулярно батареї. Ці типи засобів стеження використовують двигуни, для управління переміщеннями, за допомогою програмованих контролерів, мікропроцесорів, або контролюючих пристроїв GPS. Вони забезпечують точне стеження сонячного переміщення. Програми в межах блоку управління використовують

комбінацію сонячних алгоритмів переміщення, які регулюють обертальне переміщення вісі в напрямах, які постійно підтримують мінімальний кут косинуса протягом всіх сезонів.

Основні переваги двовісних трекерів:

- максимальна ефективність – до 45% приросту порівняно зі статичними системами;

- найвища продуктивність у ранкові та вечірні години;

- оптимальна орієнтація панелей упродовж усього року;

- можливість програмного налаштування параметрів роботи.

Двовісні трекери зазвичай використовуються у великих комерційних проектах, де критично важлива максимальна ефективність.

Сонячні трекери ефективність значно підвищують за рахунок оптимального позиціонування панелей відносно Сонця протягом усього дня.

Дослідження та практичний досвід експлуатації показують, що використання сонячних трекерів дозволяє досягти таких результатів:

Одновісні трекери забезпечують підвищення вироблення електроенергії на 25-35% у порівнянні зі статичною системою

Двовісні трекери можуть збільшити продуктивність до 45% порівняно зі статичними установками

Найбільший приріст спостерігається у ранкові та вечірні години, коли фіксовані панелі працюють найменш ефективно

В окремі періоди року ефективність може підвищуватись на 50-60%

За даними проектів Solar Invest Group, середньорічне збільшення вироблення електроенергії при використанні якісних трекерів становить близько 30-35%.

Ефективність сонячних трекерів залежить від багатьох факторів:

- географічне розташування – чим ближче до екватора, тим вище ефективність двовісних систем

- кліматичні умови – в регіонах з постійною хмарністю ефект може бути менш вираженим

- якість та тип використовуваних фотоелектричних модулів;

- точність налаштування системи стеження за сонцем;

- правильність монтажу та регулярність обслуговування.

Для досягнення максимальної ефективності важливо обирати трекери, які оптимально підходять для конкретних умов експлуатації.

Сонячні трекери представляють собою ефективне рішення для підвищення продуктивності сонячних електростанцій. При порівнянні зі статичними системами, трекери забезпечують значне збільшення вироблення електроенергії за рахунок оптимального позиціонування панелей відносно Сонця протягом усього дня.

Вибір між одновісними і двовісними системами стеження залежить від конкретних умов проекту, бюджету та пріоритетів щодо максимальної ефективності. При правильному підході до вибору обладнання та розрахунку економічної ефективності, інвестиції в сонячні трекери можуть забезпечити кращу рентабельність сонячної електростанції в довгостроковій перспективі.

1.1 Енергоефективність поворотних пристроїв стеження за Сонцем

Якщо система стеження не використовується, сонячна панель все одно повинна бути зорієнтована в оптимальному положенні. Панель потрібно розмістити там, де на неї не падатиме тінь у будь-який час доби. Крім того, слід визначити найкращий кут нахилу, виходячи з географічного розташування панелі. Як загальне правило для північної півкулі, фотоелектричні панелі слід розміщувати під кутом нахилу, що дорівнює широті місця розташування, і дивитися на південь [2]. Однак для більш точного положення і кута нахилу створюється теоретична модель сонячного сяйва протягом року, а кут нахилу і положення підбираються відповідно до моделі.

Використання однієї осі стеження може забезпечити значний приріст потужності системи. Одновісні трекери поділяються на такі класифікації: го-

ризонтальний одноосьовий трекер (HSAT), вертикальний одноосьовий трекер (VSAT), нахилений одноосьовий трекер (TSAT) та одноосьовий трекер з полярною орієнтацією (PASAT). TSAT під кутом нахилу 5° збільшує річне випромінювання на 10% порівняно з HSAT, HSAT збільшує річне випромінювання на 15% порівняно з VSAT, і, PASAT збільшує річне випромінювання на 10% порівняно з HSAT. Таким чином, для однієї осі конфігурація PASAT або TSAT збирає найбільше сонячного випромінювання (рис. 1.1).



Рисунок 1.1 – Одноосьові сонячні трекери

Для збільшення потужності використовують двовісну систему стеження. Існує дві класифікації двовісних трекерів: Tip-Tilt Dual Axis Tracker (TTDAT) і Azimuth Altitude Dual Axis Tracker (AADAT). Різниця між цими двома типами полягає в орієнтації головної осі відносно землі. У TTDAT головна вісь розташована горизонтально до землі, а у AADAT - вертикально. Найчастіше використовується метод азимутальної та зенітальної, орієнтації [3].

1.2 Пасивні поворотні системи стеження за Сонцем

Пасивні поворотні системи стеження за Сонцем — це автономні механізми, що змінюють орієнтацію сонячних панелей без використання електродвигунів чи датчиків. Ці системи використовують ідею теплового розширення матеріалів як метод стеження.

Поворотний механізм пасивного засобу стеження заснований на використанні низько киплячих стислих газів, які переміщуються або зміщуються з східної на західну сторону сонячного засобу стеження сонячним теплом, яке перетворить рідину в газ, заставляючи сонячний засіб стеження нахилятися з одного боку на інший.

Зазвичай з обох боків сонячної панелі розміщують хлорфторвуглець (ХФВ) або сплав з пам'яттю форми. Коли панель перпендикулярна до Сонця, обидві сторони знаходяться в рівновазі. Як тільки сонце рухається, одна сторона нагрівається і змушує одну сторону розширюватися, а іншу - стискатися, змушуючи сонячну панель обертатися. Пасивна система може збільшити ефективність на 23%. Ці системи набагато дешевші, ніж активні, але не є комерційно популярними [3].

У пасивного сонячного засобу стеження в порівнянні з системами стеження, з однією або двома вісями, як вважають, є ненадійна ефективність стеження. Проте, вони дійсно забезпечують кращу сонячну вихідну продуктивність, ніж сонячні платформа кріплення з фіксованим кутом.

1.3 Активні поворотні системи стеження за Сонцем

Існує три основні типи активних систем стеження: допоміжна двостороння система сонячних батарей, електрооптична система та мікропроцесорна система. Допоміжні двосторонні системи сонячних батарей є найпростішими з чотирьох активних систем.

Двосторонній (bifacial) сонячний елемент – це фотоелектричний модуль, здатний генерувати електроенергію обома сторонами (лицьовою та тильною). Він вловлює пряме сонячне світло спереду та відбите від поверхні (землі, даху) світло ззаду, що підвищує загальну продуктивність на 5–30% порівняно з односторонніми панелями.

Двосторонній допоміжний сонячний елемент (сенсорний елемент) закріплений на поворотній осі трекера і розміщений перпендикулярно до основного масиву двосторонніх сонячних панелей. Сенсорний елемент з'єднаний безпосередньо з двигуном, як правило, з електродвигуном постійного струму. Коли сонце рухається, кут падіння світла на сенсорний елемент збільшується, що в кінцевому підсумку виробляє достатньо енергії для переміщення двигуна і масиву сонячних панелей (рис. 1.2)

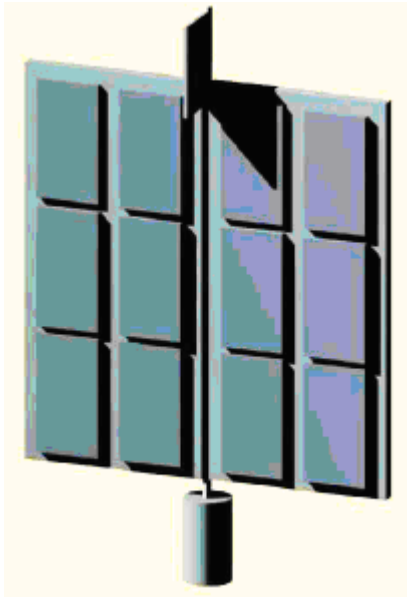


Рисунок 1.2 - Допоміжний двосторонній сонячний трекер

Електрооптична система також є ще однією відносно простою системою. Зазвичай два фоторезистори або фотоелементи використовуються як датчики для одновісних систем. Ці датчики розташовуються поруч один з одним і мають роздільний елемент, нахилене кріплення під розрахованим кутом або використовують коліматор для створення різниці струму та/або напруги між двома датчиками (рис. 1.3).

Комбінація резисторів, конденсаторів, підсилювачів, логічних ключів, діодів і транзисторів використовується для формування схеми порівняння і драйвера. Вихід схеми порівняння живить схему драйвера, яка живить двигун і змінює напрямок відповідно до того, який датчик отримує більшу кількість світла. Це орієнтує сонячну панель перпендикулярно до Сонця [3].

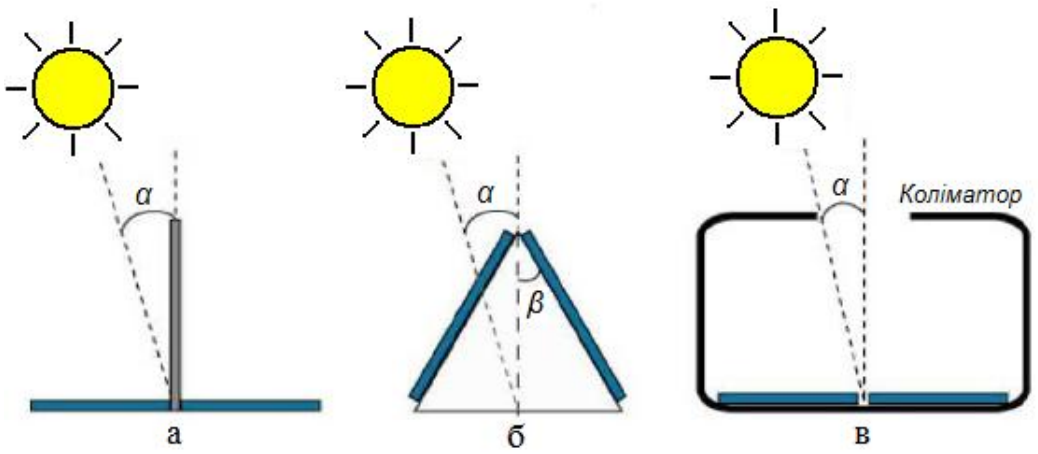


Рисунок 1.3 - Розташування датчиків трекера: а - роздільний елемент, б - нахилене кріплення, в – коліматор

Мікропроцесорні та комп'ютерні системи складають останній тип систем. Іноді їх класифікують на дві різні групи, але по суті вони досить схожі. Основна відмінність від перших двох систем полягає в тому, що мікропроцесорні та комп'ютерні системи використовують алгоритми для визначення положення Сонця, а не датчики. Зазвичай мікропроцесорні системи використовують датчики лише для зменшення похибки або калібрування системи. Деякі мікропроцесорні та комп'ютерні системи навіть використовують процедуру максимізації струму для виправлення помилок. У багатьох системах дешевий мікропроцесор, такий як програмований інтерфейсний контролер (PIC), має алгоритм стеження, а інформація подається на комп'ютер для аналізу. Мікроконтролер має два основних режими: режим годинника і режим Сонця. У режимі годинника обчислюється положення Сонця і вносяться будь-які зміни в алгоритм на основі даних датчиків сонячної похибки. У режимі Сонця алгоритм активно позиціонує сонячні панелі. Якщо інтенсивність сонячного випромінювання падає нижче встановленого значення, активується режим годинника. Така різноманітність режимів сприяє кращому позиціонуванню і, відповідно, більшому коефіцієнту корисної дії [4].

1.4 Аналіз принципу функціонування пристроїв стеження за Сонцем

Пристрій стеження за Сонцем складається з двох частин. Одна з них об’єднує механізм, що приводить до руху приймач сонячного вилучення, інша – електронну схему, що управляє цим механізмом.

Розроблено низку методів стеження за Сонцем. Один з них заснований на кріпленні сонячних елементів на тримачі, паралельному полярній вісі [3]. Подібні пристрої звуться екваторіальними слідкуючими системами (рис. 1.4).

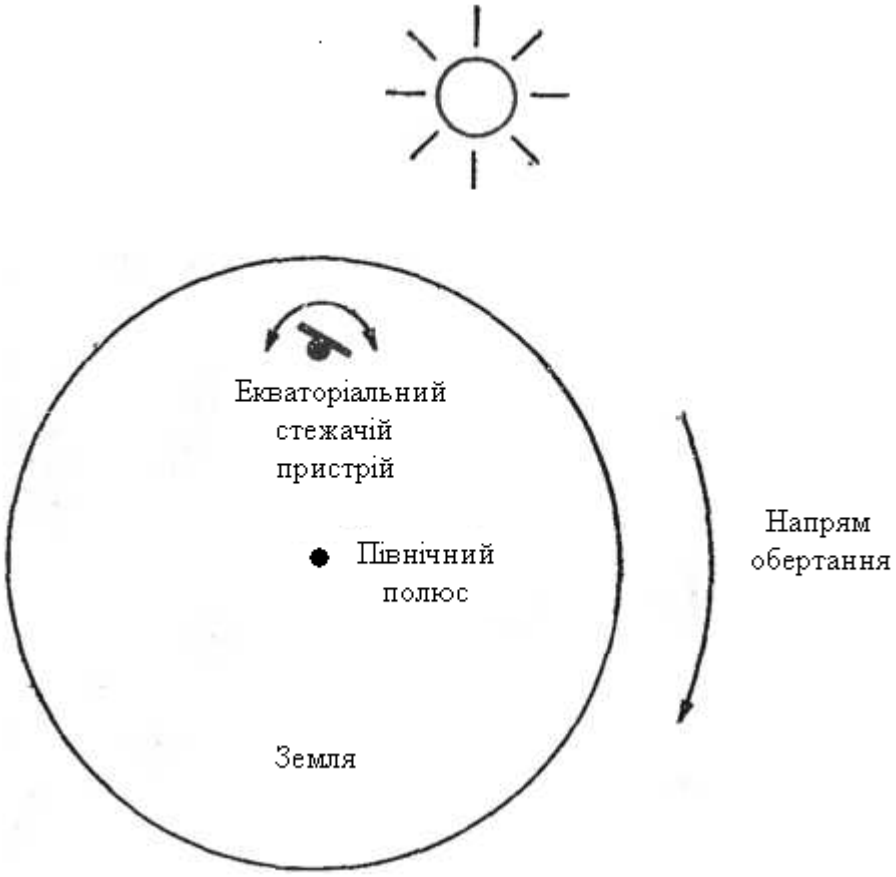


Рисунок 1.4 - Екваторіальна слідкуюча система

Завдяки обертанню Землі здається, що Сонце рухається по небосхилу. Якщо врахувати це обертання Землі, Сонце, образно виражаючись, «зупинилося» б. Так само діє екваторіальна слідкуюча система. Вона має вісь, що обертається, паралельно полярній вісі Землі. Якщо закріпити на ній сонячні елементи і обертати їх вперед і назад, вийде імітація обертання Землі [4].

Кут нахилу вісі (полярний кут) визначається географічним положенням і відповідає широті місця, в якому змонтовано пристрій. Географічна координата Запоріжжя відповідає 47° південної широти. Тоді вісь слідкуючого пристрою буде повернута на кут 47° до горизонту. На Північному полюсі вона перпендикулярна поверхні Землі (рис. 1.5).

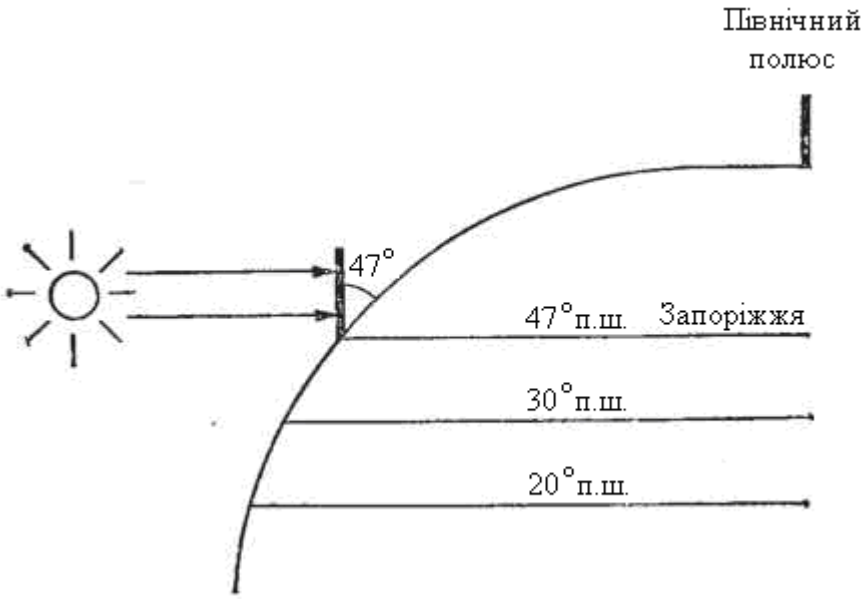


Рисунок 1.5 – Повертання вісі слідкуючого пристрою в залежності від географічної координати

Обертання сонячних елементів на схід або захід відносно цієї похилої вісі імітуватиме рух Сонця по небосхилу. Якщо повертати сонячні елементи з кутовою швидкістю обертання Землі, можливо повністю «зупинити» Сонце.

Це обертання здійснюється механічною системою слідкуючого пристрою. Для обертання сонячних елементів довкола вісі необхідний двигун. У будь-який момент добового руху Сонця площина сонячних батарей буде тепер перпендикулярна напрямку сонячних променів.

Електронна частина слідкуючого пристрою видає ведучому механізму інформацію про положення Сонця. По електронній команді панель встановлюється в потрібному напрямі. Як тільки сонце зміститься до заходу, електронний регулятор запустить електродвигун до тих пір, поки знову не відновиться потрібний напрям панелі на Сонце [4].

Новизна слідкуючого пристрою повинна полягати в здійснені орієнтації сонячних елементів на сонце і живленні керуючої системи. Це досягається завдяки комбінації конструктивних і електричних характеристик пристрою.

Сонячна батарея складається з двох панелей, сполучених паралельно (рис. 1.6), що містять по три елементи, які підключені послідовно і розміщені на площинах прозорого пластмасового корпусу.

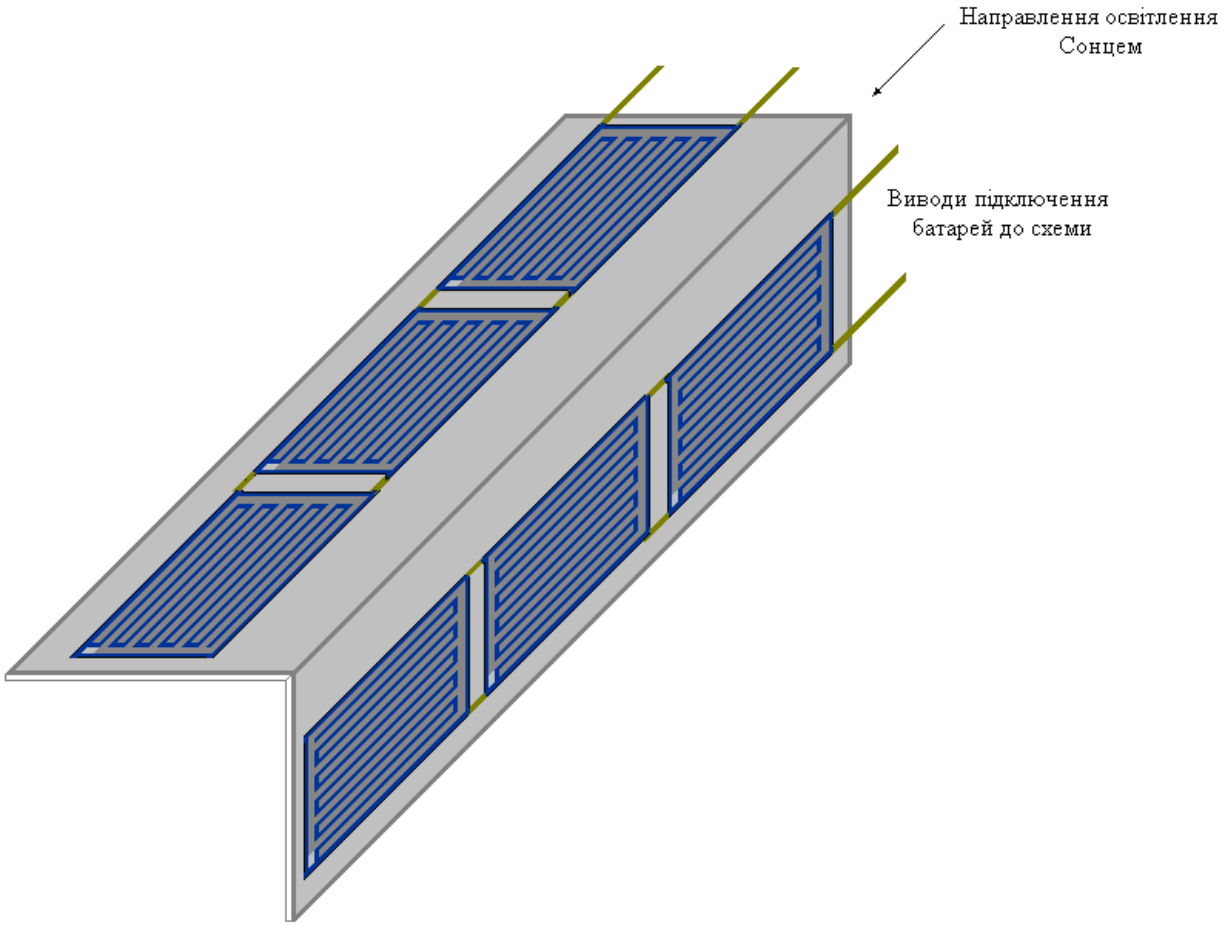


Рисунок 1.6 – Підключення сонячних панелей до схеми

Панелі монтуються під прямим кутом одна до одної. У результаті принаймні один з модулів буде постійно освітлений Сонцем.

Якщо пристрій розташований так, що бісектриса кута, утвореного панелями, направлена точно на сонце, кожна панель нахилена під кутом 45° до Сонця (рис. 1.7) і виробляє електричну енергію.

Якщо обернути пристрій на 45° управо, права панель займе паралельне положення, а ліва – перпендикулярне сонячним променям. Тепер лише ліва панель генерує енергію, а права не діє.

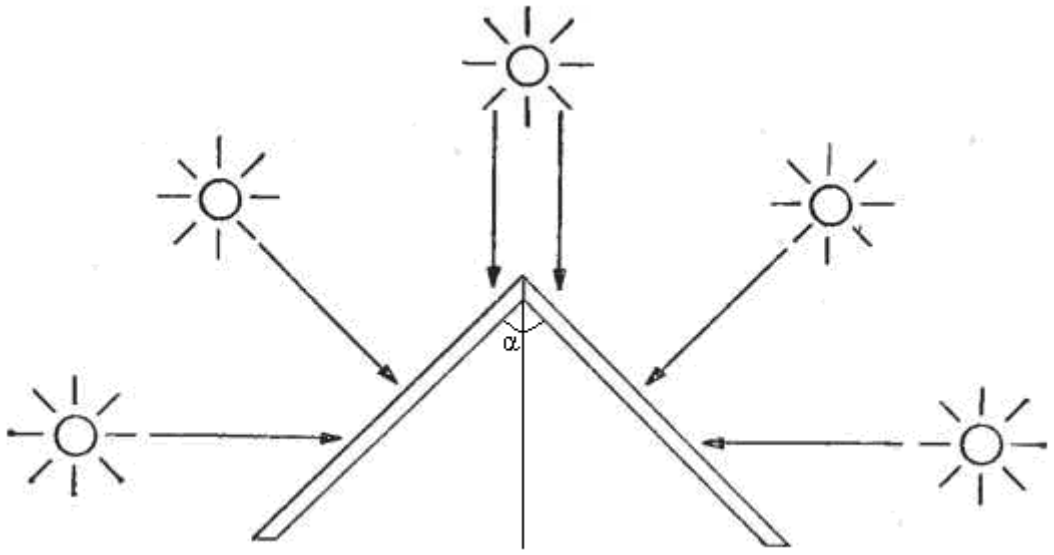


Рисунок 1.7 – Розташування панелей відносно Сонця

При повороті пристрою ще на 45°, світло продовжує потрапляти на ліву панель, але під кутом 45°. Як і раніше, права сторона не освітлена і не генерує енергії.

При обертанні в ліву сторону права панель генеруватиме енергію, а ліва – бездіяти. В будь-якому разі хоч би одна батарея виробляє електроенергію.

Під час експерименту модуль обертався на 180°. Від світанку до заходу якась частина пристрою буде освітлена Сонцем. Таким чином, якщо сонячні батареї закріпити так, щоб стик панелей був направлений на полуденне сонце, завжди вироблятиметься електрична напруга незалежно від положення Сонця на небосхилі [4].

1.5 Організація та методи управління сонячним трекером

Сонячний трекер орієнтує сонячні панелі таким чином, щоб їх ефективність була найвищою. На трекері розташовані датчики, які визначають оптимальний кут нахилу сонячних панелей, а серводвигун рухає панелі у відповідне положення. Ця система слідкує за тим, щоб сонячна панель завжди була орієнтована так, щоб промені світла падали перпендикулярно до неї.

Одновісний трекер може обертатися навколо однієї осі, при цьому інша ось зафіксована під певним кутом. Трекери з однією віссю мають лише одну ступінь свободи, а саме обертання навколо осі. Зазвичай вісь обертання одновісного трекеру орієнтована вздовж дотичної до меридіана (північ-південь). Одновісний сонячний трекер обертається від сходу на захід протягом дня, слідкуючи за азимутальним кутом положення Сонця (рис. 1.8).



Рисунок 1.8 – Сонячний одновісний трекер

Сонячні трекери, які базуються на одновісних системах, мають лише одну ступінь свободи обертання, що в результаті призводить до меншого споживання енергії та більш простої конструкції порівняно з багатокоординатними системами.

Існують алгоритми функціонування сонячних трекерів.

1. Одновісний 3-х позиційний сонячний трекер може бути вбудований у стіну будинку. Конструкція трекера дозволяє роботу в трьох фіксованих положеннях. Сам трекер складається з простої конструкції та двигуна постійного струму для обертання монтажної рами. Алгоритм управління вклю-

чає в себе вимірювання руху трекера, генерацію сонячного перетворювача та алгоритми управління, які реалізовані за допомогою мікроконтролера PIC18F452.

2. Розроблено одновісний сонячний трекер [5], який включає в себе сонячну панель, серводвигун, акумулятор, зарядний пристрій, два фоторезистори та мікроконтролер. Цей трекер створений для слідкування за Сонцем, рухаючись від сходу на захід, і обертання в одному напрямку. Інтенсивність сонячного світла визначається фоторезисторами, які передають сигнал мікроконтролеру для обертання панелі за допомогою серводвигуна. Усі компоненти пристрою живляться від свинцево-кислотної батареї, яка зберігає енергію через контролер заряду.

3. Алгоритм для одновісного сонячного трекера базується на автоматичному контролі положення плоского сонячного перетворювача або циліндричного параболічного відбивача в оптимальному положенні по одній осі, при цьому трекер керує обертанням в іншому напрямку, змінюючи азимутальний кут [5]. Цей алгоритм призначений для досягнення максимального рівня сонячного освітлення в будь-якому положенні азимутального кута 360°. Трекер виконує повний оберт навколо своєї осі і не обмежений географічним положенням установки. В даній системі використовується схема ступінчастого відстеження замість безперервного відстеження, що дозволяє заощаджувати енергію, тримаючи двигуни у режимі холостого ходу.

4. Сонячний перетворювач HS-1500 подає живлення на зарядний пристрій, який заряджає постійним струмом акумулятор. Друга функція сонячного перетворювача полягає в наданні точної напруги мікроконтролеру трекера для отримання найбільш ефективної орієнтації системи, що дозволяло отримувати максимальну кількість сонячного світла. Конструкція пристрою включає сонячний перетворювач, серводвигун, зарядний пристрій, три фоторезистора, розташованих на схемі ABC, і акумулятор (рис. 1.9) [6]. Робота трекера полягає в порівнянні інформації з двох фоторезисторів A та C, поки дані з фоторезисторів не стають близькими за значенням. Цей цикл порівнянь

керує серводвигуном до досягнення майже рівномірного розподілу світла. Фоторезистори B та C використовуються аналогічно.

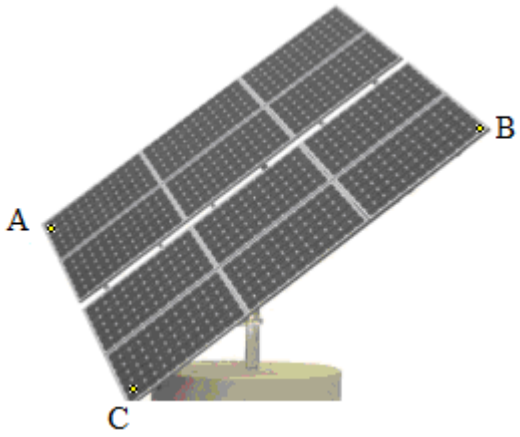


Рисунок 1.9 - Розташування фоторезисторів по схемі ABC на сонячному перетворювачі HS-1500

5. В структурній схемі (рис.1.10) одновісного сонячного трекера ключовим компонентом системи є мікроконтролер, який відповідає за налаштування кута панелі відносно сонячних променів і здійснює обмін даними з колом зворотного зв'язку, за допомогою якого передається інформація для подальших операцій.

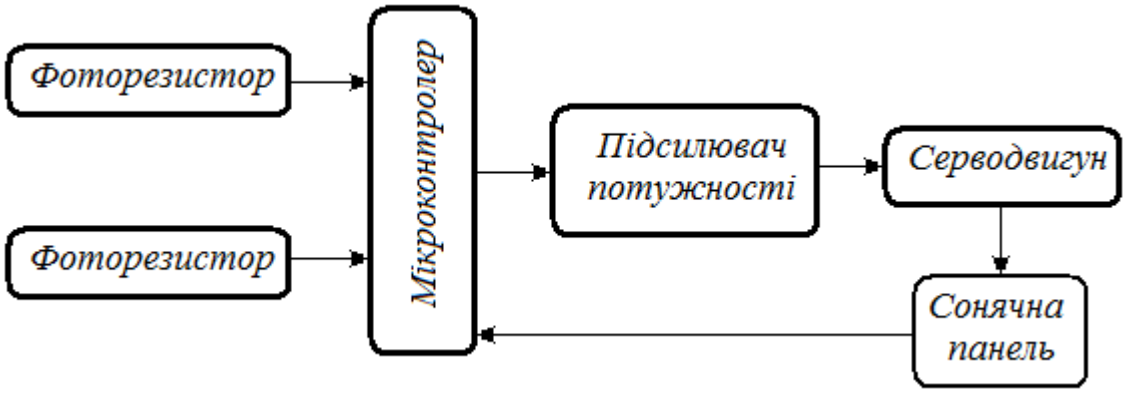


Рисунок 1.10 – Варіант одновісного сонячного трекера з зворотним зв’язком

Таким чином, схема і пристрій сонячного трекера досить прості. Природно, що в промислових масштабах використовують більш складні системи,

однак подібну схему можна спростити для побутової установки з виробництва електроенергії на основі сонячних батарей.

1.6 Вимоги до електронної схеми системи стеження за Сонцем

Електронна схема керування повинна забезпечувати функцію відключення електродвигуна за відсутності достатнього освітлення, з метою економії енергії накопиченою акумулятором.

Проаналізуємо принцип дії електронної схеми, наведеної на рисунку 1.11.

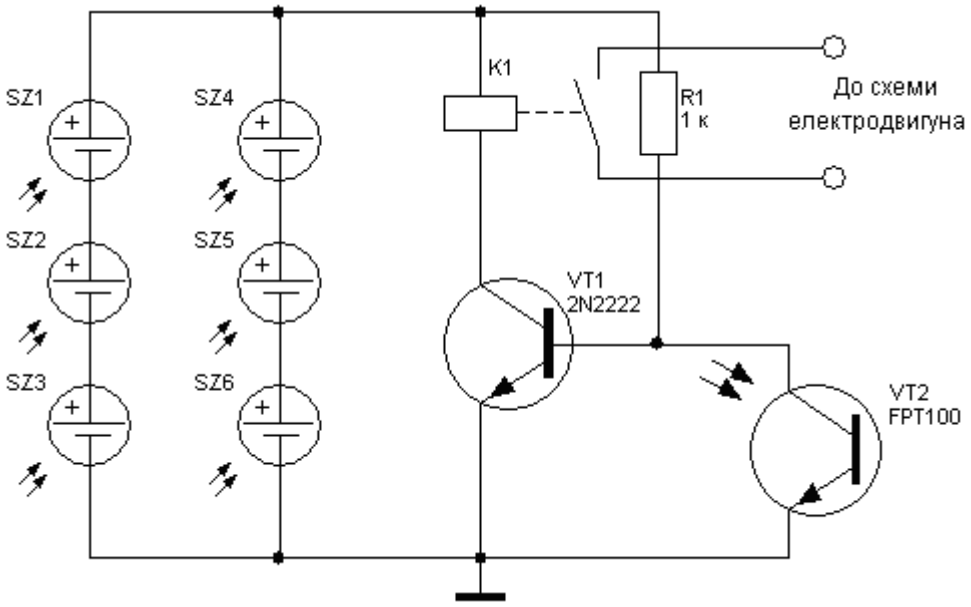


Рисунок 1.11 – Експериментальна схема системи стеження за Сонцем

Припустимо, що транзистор VT1 знаходиться в стані насичення, а фототранзистор VT2 замкнений. Реле К1 реагує на протікаючий через нього струм. У реле є дротяна котушка, в якій енергія електричного струму перетвориться в енергію магнітного поля. Напруженість поля прямо пропорційна силі струму, протікаючого через котушку. При збільшенні струму настає момент, коли напруженість поля зростає настільки, що якір реле притягується

до сердечника обмотки і контакти реле замикаються. Цьому моменту відповідає так званий поріг спрацьовування реле [7].

Реле використовується при вимірі порогової інтенсивності сонячної радіації за допомогою сонячних елементів. Струм сонячного елементу залежить від інтенсивності світла. У схемі, що розробляється, до реле підключено дві сонячні панелі, і доки вони не генерують струм, що перевищує поріг спрацьовування, реле не включається. Таким чином, саме кількість падаючого світла визначає поріг спрацьовування.

Якщо сила струму ледве менше мінімального значення, то схема не працює. Реле і сонячна батарея підібрані так, що реле спрацьовує при інтенсивності світла, що досягає 60 % від максимальної величини.

Таким чином вирішується перше завдання слідкуючої системи – визначення рівня інтенсивності сонячного випромінювання. Замкнені контакти реле включають електродвигун, і система починає шукати орієнтацію на Сонце.

У колекторному ланцюзі транзистора VT1 включене реле К1. Для спрацювання реле, необхідно відкрити транзистор VT1. Резистором R1 задається струм зсуву, яким відкривається транзистор VT1. Транзистор VT2 представляє фототранзистор, його базова область освітлює світлом. Струм колектора фототранзистора прямо пропорційний інтенсивності світла.

Резистор R1 крім того, що він задає струм зсуву транзистора VT1, використовується також як навантаження транзистора VT2. Коли база транзистора VT2 не освітлюється світлом, колекторний струм відсутній і весь струм, що проходить через резистор R1, тече через базу, насичуючи транзистор VT1.

У міру збільшення освітлення фототранзистора починає текти колекторний струм, який протікає лише через резистор R1. Згідно закону Ома, збільшення струму через фіксований резистор наводить до зростання на нім падіння напруги. Таким чином, змінюється і напруга на колекторі VT2. Коли ця напруга стане менше U^*, пропадає зсув транзистора VT1 внаслідок того, що йому вимагається принаймні 0,7В, аби протікав базовий струм. Транзистор

VT1 перестане проводити струм, реле К1 вимикається, і його контакти розімкнуться.

Цей режим роботи матиме місце лише тоді, коли транзистор VT2 направлений безпосередньо на сонце. При цьому пошук точної орієнтації на сонце припиняється завдяки розмиканню ланцюга живлення двигуна контактами реле. Тепер сонячна батарея точно направлена на сонце.

Коли сонце вирушає з поля зору транзистора VT2, транзистор VT1 включає реле і механізм знову приходить в рух. І знову знаходить сонце. Пошук повторюється багато разів при переміщенні Сонця по небосхилу протягом дня.

До вечора інтенсивність освітлення падає. Сонячна батарея вже не може генерувати кількість енергії, достатню для живлення електронної системи, і контакти реле розмикаються в останній раз. Рано вранці наступного дня сонце освітлює батарею слідкуючої системи, орієнтовану на схід, і робота схеми починається знову.

Аналогічним чином відбувається розмикання контактів реле, якщо освітленість знижується із-за похмурої погоди.

1.8 Вимоги до конструкції пристрою стеження за Сонцем

При розробці конструкції важливим моментом є узгодження характеристик сонячних батарей і реле. За допомогою тестування необхідно відібрати сонячні елементи що генерують струм 80 мА, при максимальній інтенсивності сонячного випромінювання [4].

Обидві сонячні панелі аналогічні по конструкції. Кожна містить три елементи, які сполучені послідовно і прикріплені до пластин з оргстекла. Елементи будуть постійно підлеглі до дії довколишнього середовища, тому для них необхідно передбачити заходи захисту. Зверху елементи покрива-

ються товстим шаром лавсанової плівки, яка після температурної обробки розплавляється, створюючи герметичне покриття.

Заздалегідь розпаяні виводи з'єднуються з електронною схемою пристрою. Реле є котушкою, намотаною на герконовий контакт. Обмотка реле складається з емальованого мідного дроту, намотаного на діелектричний каркас. Повний опір обмотки повинен складати 20 – 30 Ом. Геркон в каркасі зафіксований краплею клею. Реле повинне спрацьовувати, коли інтенсивність сонячного світла складає близько 60 % повної інтенсивності.

Фототранзистор можна розташувати в світлонепроникний корпус з мідної або алюмінієвої труби завдовжки близько 2,5 см і діаметром, відповідним діаметру корпусу транзистора. Один кінець труби слід розплющити так, щоб залишилася щілина шириною 0,8 мм. Труба закріплюється на транзисторі. Готова схема управління з метою герметизації заливається віксином.

Батарея розташовується на рамі, прикріпленій до осі, що обертається, з використанням підшипників. Для обертання рами довкола осі встановлюється електромотор з редуктором.

Оскільки реле виконує функції вмикання і вимикання, в електронній схемі необхідно передбачити використання кінцевих вимикачів, що розташовуються в крайніх положеннях рами, які змінюють напрям обертання електромотора. Для цього можна використовувати схему перемикача полярності (рис. 1.12).

При подачі живлення електромотор починає обертатися. Напрям його обертання залежить від полярності джерела живлення.

У момент подачі живлення реле перемикання полярності К2 не спрацьовує, тому що ланцюг живлення його обмотки розірваний нормально розімкненим контактом SA2. Електромотор обертає раму у напрямку до кінцевого вимикача SA2. У крайньому положенні свого обертання рама упирається в нього. При замиканні цього вимикача спрацьовує реле К2 яке міняє полярність живлячої напруги електромотора, і останній починає обертатися в протилежному напрямі.

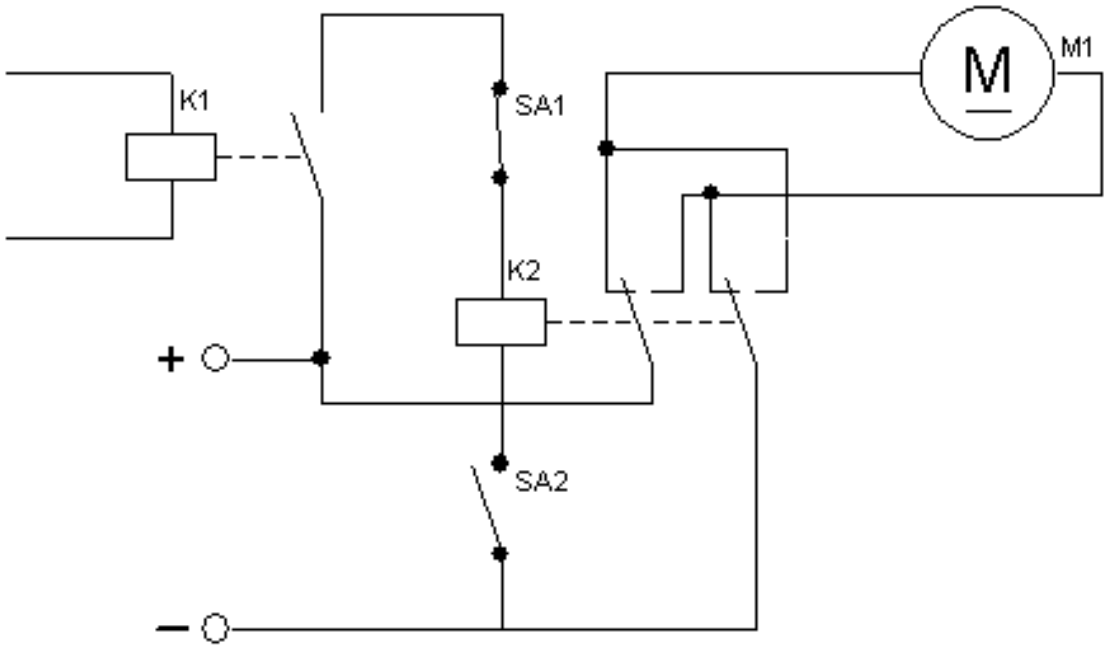


Рисунок 1.12 – Схема керування електродвигуном

Хоча кінцевий контакт SA2 знову розмикається, реле залишається ввімкненим завдяки тому, що його контакти замкнуті.

При натисненні рами на кінцевий вимикач SA1 ланцюг живлення реле розмикається і реле вимикається. Напрям обертання мотора знову змінюється, і стеження за небосхилом продовжується.

Таким чином, схема і пристрій сонячного трекера досить прості. Природно, що в промислових масштабах використовують більш складні системи, однак подібну схему можна спростити для побутової установки з виробництва електроенергії на основі сонячних батарей.

Метою роботи являється розробка поворотної системи сонячних панелей, для підвищення енергоефективності функціонування.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити наступні завдання:

- розробити схему принципову поворотної системи;
- розробити топологію печатної плати;
- провести аналіз функціонування пристрою стеження за Сонцем.

2 Розробка електронної частини поворотної системи пристрою слідкування за сонцем

Як відомо, потужність світлового потоку в поверхні Землі на екваторі досягає 1,1 кВт/м^2 (на широті Запоріжжя близько 0,9 кВт/м^2). Приблизно 40 % цієї енергії може бути перетворено в електричну сонячними батареями, створеними англійською компанією Sandia National Laboratories на основі нитридо-арсениду галлію-индію. У ряді випадків доцільне використання і звичайних сонячних батарей з ККД 20% [4].

ККД сонячних батарей залежить від багатьох чинників, але вирішальною є орієнтація її елементів відносно джерела випромінювання. Для підтримки оптимальної освітленості сонячних батарей розроблені всілякі системи слідкування –від простих аналогових до аналого-цифрових [3]. Регулювання подібних пристроїв ускладнене тим, що поріг їх спрацьовування міняється в залежності не лише від диференціальної, але і від загальної інтенсивності освітлення. Крім того, для установки таких систем у вихідний стан потрібне втручання обслуговуючого персоналу.

Розробляємий пристрій використовує імпульсне регулювання, і без втручання зовні здатний орієнтувати сонячну батарею по найкращій освітленості. Функціональна схема пристрою слідкування за Сонцем представлена на рисунку 2.1.

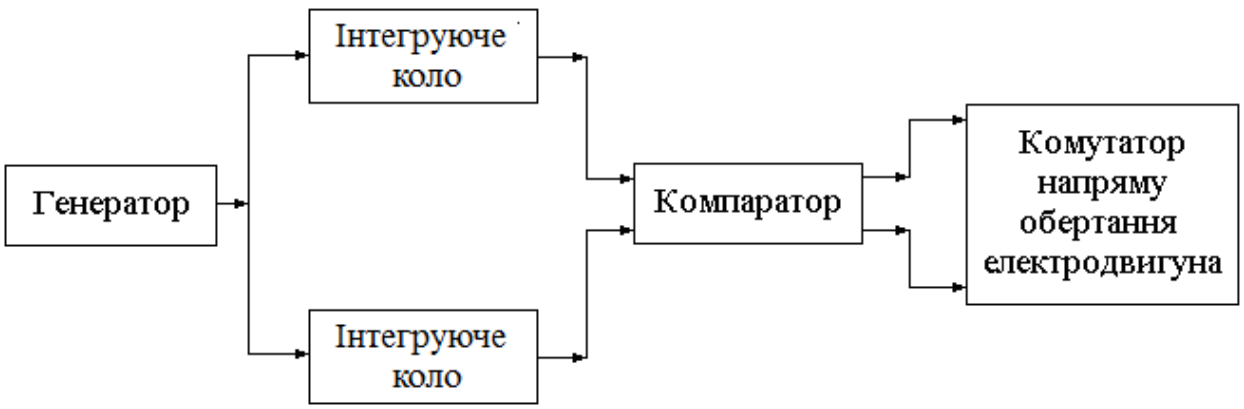


Рисунок 2.1 - Функціональна схема пристрою слідкування за Сонцем

Тактовий генератор виробляє імпульси, які поступають на інтегруючі кола. В схему інтегруючих кіл входять фотодіоди, які освітлюються Сонцем. В залежності від освітлення формуються сигнали з різною тривалістю. Сигнали з інтегруючих кіл поступають на компаратор. Залежно від співвідношення тривалості імпульсів компаратор виробляє сигнали, які поступають на комутатор напряму обертання електродвигуна.

2.1 Розробка схеми цифрового генератора тактових імпульсів

На базі логічних елементів цифрових пристроїв можуть бути сконструйовані різноманітні генератори імпульсів [6].

Генератор за схемою на рисунку 2.2 (використовуються елементи 2І-НЕ з відкритим колектором) виробляє імпульси у широкому діапазоні частот - від одиниць герц до декількох кілогерц.

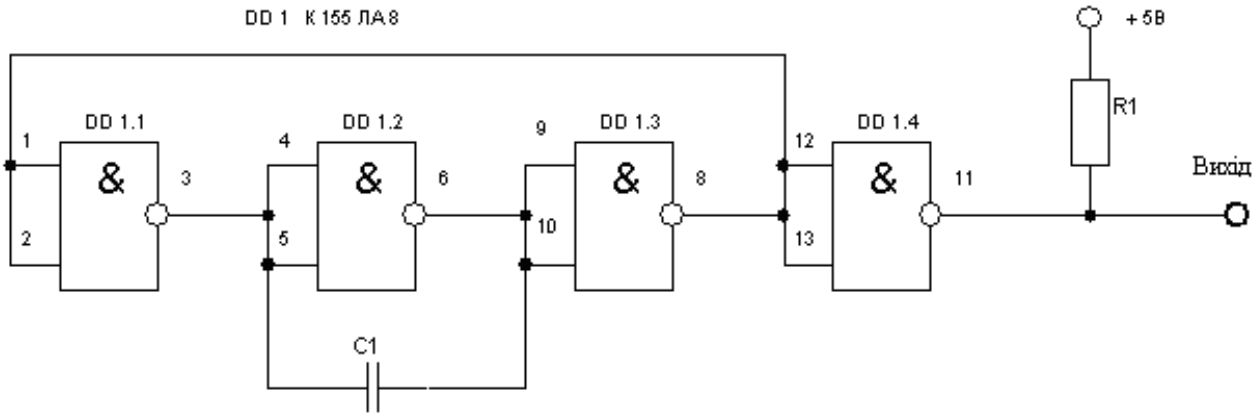


Рисунок 2.2 - Генератор імпульсів на мікросхемі К153ЛА8

Залежність частоти f (кГц) від ємності конденсатора С1 (пФ) виражається наближеною формулою:

$$f = 3 \times 10^5 / C1 \qquad (2.1)$$

Шпаруватість імпульсної напруги практично дорівнює 2. При зниженні напруги джерела живлення на 0,5 В частота імпульсів, які генеруються, зменшується на 20%.

У генераторі за схемою на рисунку 2.3 тривалість імпульсів можна регулювати змінним резистором R2 (шпаруватість змінюється від 1,5 до 3), а частоту - резистором R1 [6]. Наприклад, в генераторі з С1 = 0,1 мкФ при виключенні резистора R2 лише резистором R1 частоту імпульсів, які генеруються, можна змінювати від 8 до 125 кГц. Для здобуття іншого діапазону частот необхідно змінити ємкість конденсатора С1 [7].

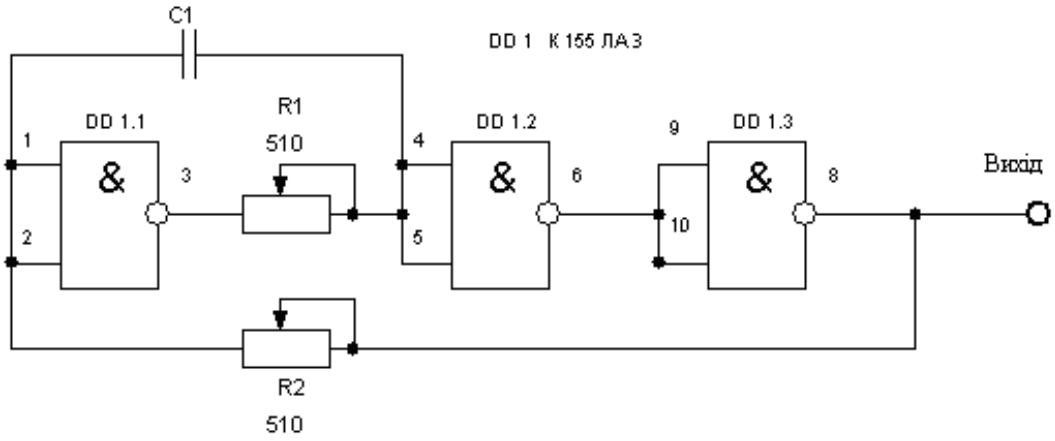


Рисунок 2.3 – Генератор імпульсів з регульованою тривалістю

Широка зміна частоти імпульсів (близько 50 тисяч разів), які генеруються, забезпечує пристрій, зібраний за схемою на рисунку 2.4 [6]. Мінімальна частота імпульсів тут близько 0,25 Гц.

Тривалість імпульсів регулюють резистором R1. Частоту дотримання можна визначити по формулі [8]:

$$f = \frac{1}{2C1 \cdot R1} \qquad (2.2)$$

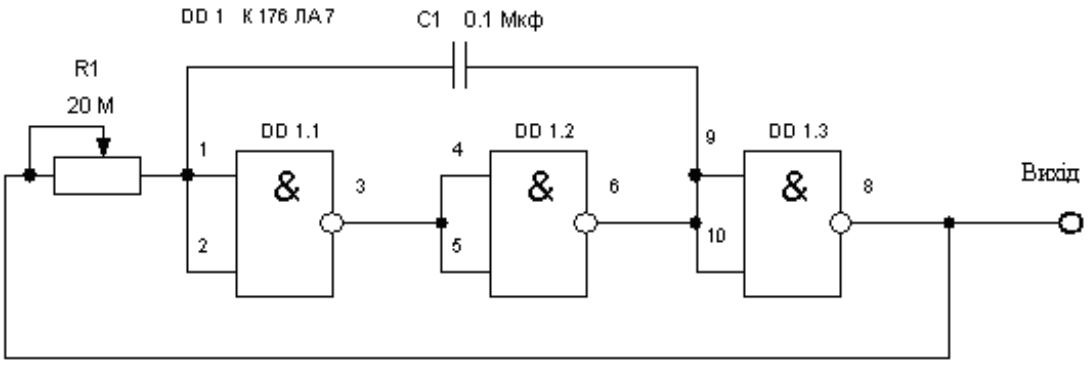


Рисунок 2.4 – Генератор імпульсів з регульованою тривалістю

$$R1 = \frac{1}{2f \cdot C1}$$

При реалізації цифрових пристроїв різного призначення часто необхідно сформувати короткі імпульси по фронтах вхідного сигналу. Зокрема, такі імпульси використовують для скидання лічильників, як імпульси синхронізації, при записі інформації в регістри і так далі. На рисунку 2.5 представлені схема і часові діаграми формувача коротких негативних імпульсів по позитивному перепаду напруги на його вході.

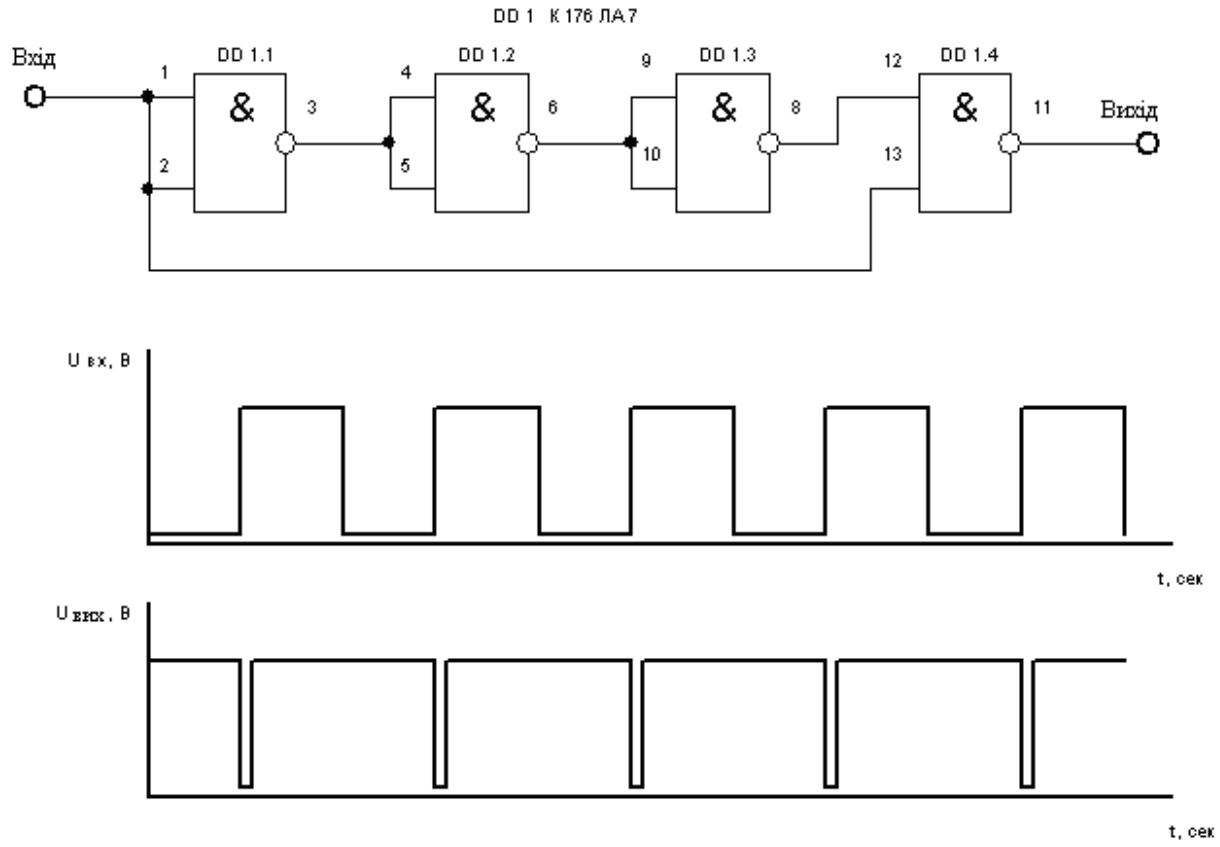
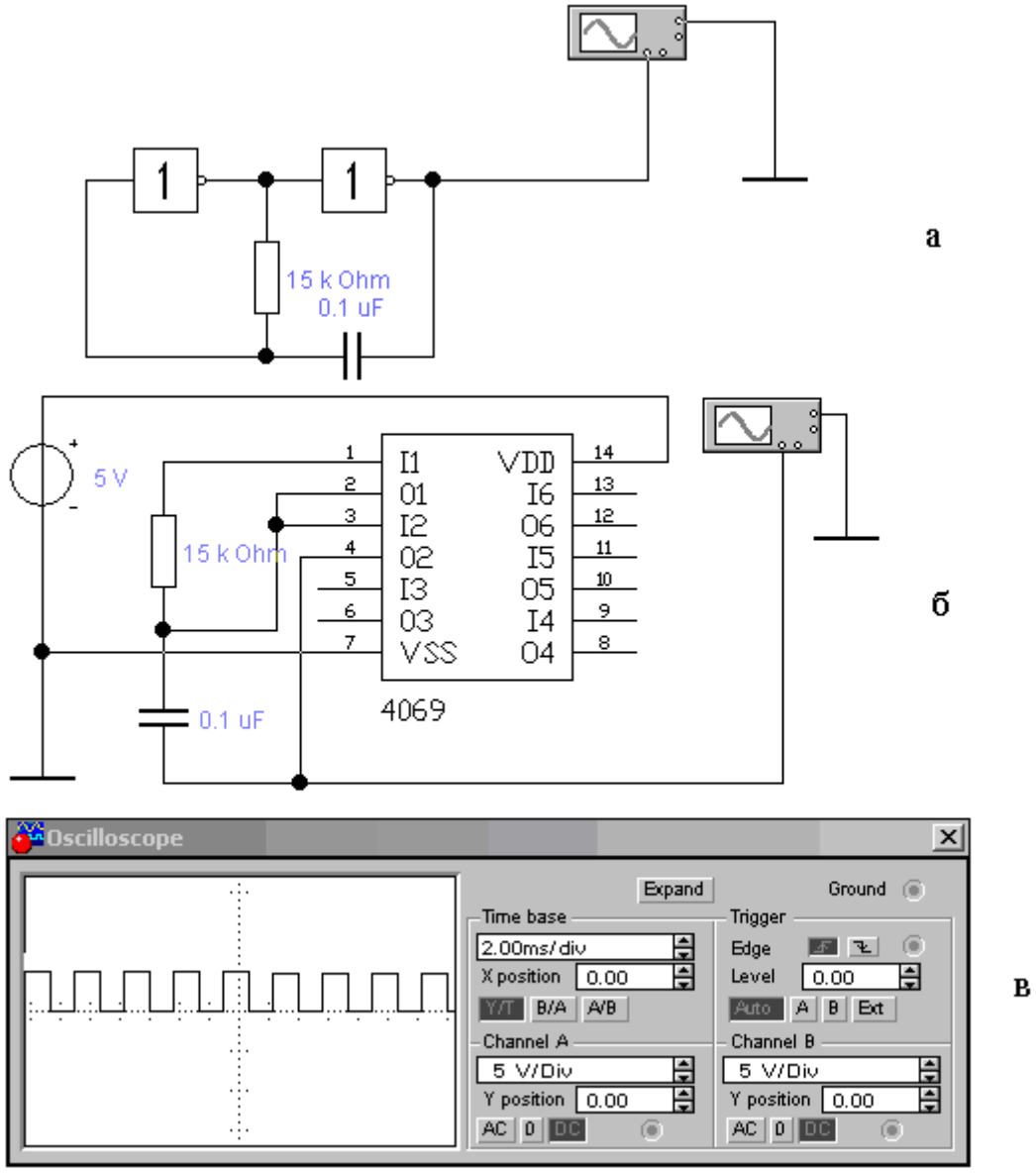


Рисунок 2.5 – Формувач імпульсів по фронту вхідного сигналу

При зміні напруги $U_{вх}$ від низького рівня до високого цей перепад без затримки поступає на вхід 13 елемента DD1.4. В той же час на вході 12 елемента DD1.4 напруга високого рівня зберігається протягом часу поширення сигналу через елементи DD1.1 – DD1.3 (близько 75 нс). В результаті протягом цього часу на виході пристрою зберігається напруга низького рівня. Потім на вході 12 встановлюється напруга низького рівня, а на виході пристрою – високого. Таким чином, формується короткий негативний імпульс, фронт

якого збігається з фронтом вхідної напруги. Аби такий пристрій використовувати для формування негативного імпульсу по зрізу вхідного сигналу, його треба доповнити ще одним інвертором.

Обираємо схему генератора імпульсів, яка буде зібрана на мікросхемі виготовленій по МНОП технології. Проведемо аналіз функціонування генератора імпульсів в програмному забезпеченні Electronics Workbench (рис. 2.6).



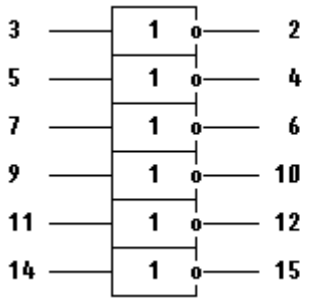
а – на логічних елементах;

б – на мікросхемі 4069 (К561ЛН2);

в – діаграма функціонування

Рисунок 2.6 – Аналіз функціонування генератора імпульсів

Схема побудована на мікросхемі К561ЛН2 (рис. 2.7) і виробляє імпульси з частотою 250 Гц.



N вив.	Призначення	N вив.	Призначення
1	Ucc	9	Вхід
2	Вихід	10	Вихід
3	Вхід	11	Вхід
4	Вихід	12	Вихід
5	Вхід	13	Вільний
6	Вихід	14	Вхід
7	Вхід	15	Вихід
8	Загальний	16	Вільний

Рисунок 2.7 - Розташування та призначення виводів мікросхеми К561ЛН2

2.2 Розробка схеми інтегруючого кола

Інтегруючим колом (інтегратором) називають коло, призначене для виконання операції інтегрування, тобто для одержання вихідної напруги $U_{вих}(t)$, пропорційного інтегралу від вихідного $U_{вх}(t)$ [9]:

$$U_{вих}(t) = \frac{1}{\tau}\int_0^t U_{вх}(t)dt \qquad (2.3)$$

Чи в операторній формі:

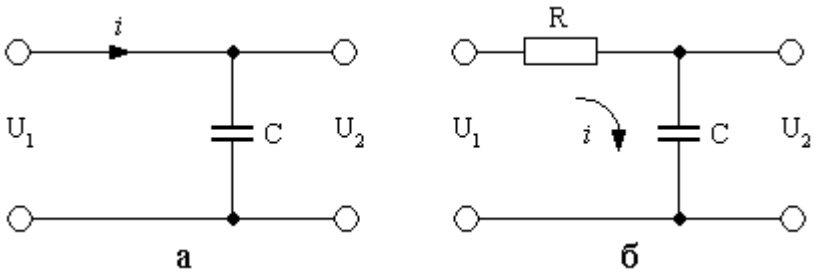
$$U_{вих}(p) = \frac{1}{p\tau}U_{вх}(p), \qquad (2.4)$$

де $\frac{1}{\tau}$ - коефіцієнт пропорційності.

Таке коло може бути використане: для відфільтрування високочастотної складової (тобто як фільтр низьких частот); для виконання операції інтегрування, тобто для одержання сигналів, пропорційних інтегралу від вхідних сигналів (з визначеною погрішністю); для формування напруги, що лінійно-змінюється (трикутної чи пилкоподібної форми); для затримки імпульсних чи цифрових сигналів; для видалення фронтів імпульсів; для збільшення тривалості імпульсів, тобто для одержання сигналів із тривалістю $t_{ивви} >> t_{ивв}$.

Крім цього складні еквівалентні схеми реальних електронних пристроїв після їхнього спрощення часто зводяться до таких ланцюгів, що істотно спрощує їхній аналіз [10].

Конденсатор (без витоку) є ідеальним елементом для інтегрування вхідного струму i. Однак звичайно ставиться задача інтегрування вхідної напруги U_1 (рис. 2.8).



а – струму;

б - напруги

Рисунок 2.8 – Схеми інтеграторів

$$U_c = \frac{1}{C}\int idt.$$

Для цього необхідно джерело напруги U_1 перетворити в джерело струму i. Здійснюється це за допомогою резистора R. При цьому

$$i = \frac{(U_1 - U_2)}{R}$$

і практично не залежить від U_2. Це виконується при $|U_2| << |U_1|$.

$$U_2 = U_1 = \frac{1}{C}\int_0^t idt = \frac{1}{CR}\int_0^t (U_1 - U_2)dt.$$

При виконанні умови

$$|U_2| << |U_1|$$

можна приблизно записати, що

$$U_2 \cong \frac{1}{RC}\int_0^t U_1 dt. \qquad (2.5)$$

Це результат точного інтегрування. Ступінь наближення реального вихідного сигналу до цього результату залежить від ступеня виконання нерівності $|U_2| << |U_1|$. З формули (2.5) видно, що для можливості використання

RC - кіл як інтегруюче коло необхідно, щоб постійна часу RC була досить велика. Однак з збільшенням RC зменшується амплітуда вихідного сигналу. Тобто є дві зовсім протилежних вимоги до RC.

Проаналізуємо основні характеристики інтегруючого кола.

а) Передатна функція ідеального інтегруючого кола

$$W(p)=\frac{1}{1+p\tau}.$$

За умови $|p\tau|>>1$ наближається до ідеального інтегрування. Тобто, чим більше τ, тим точніше коло виконує функції інтегрування.

Передатна функція реального інтегруючого кола:

$$W(p)=\frac{Z_{вих}(p)}{Z_{вх}(p)}=\frac{\frac{1}{pC}}{R+\frac{1}{pC}}=\frac{1}{pRC+1}=\frac{1}{p\tau+1};$$

$$W(p)=\frac{U_{вих}(p)}{U_{вх}(p)}=\frac{J(p)\cdot RC(p)}{J(p)\cdot[RC(p)+R]};$$

б) Амплітудно-частотна характеристика (рис.2.9).

Запишемо передатну функцію в частотній області:

$$W(j\omega)=\frac{1}{1+j\omega\tau}=k(\omega)\cdot e^{j\varphi(\omega)} \qquad (2.6)$$

$$k(\omega)=\sqrt{\frac{1}{1+\omega^2\tau^2}} \qquad (2.7)$$

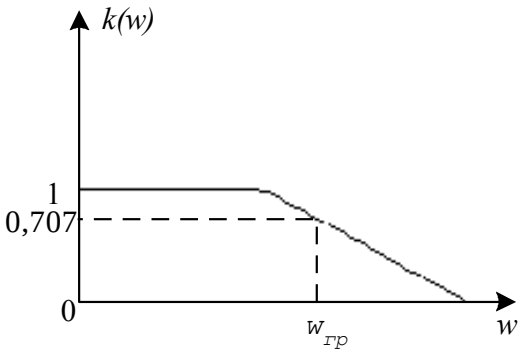


Рисунок 2.9 - АЧХ інтегруючого кола

$$k(\omega)=0 \text{ при } \omega=\infty;\ \omega_{гр}=\frac{1}{\tau},\ f_{гр}=\frac{1}{2\pi\tau}.$$

Амплітудно-частотна характеристика може бути отримана з вираження $W(p)$ при переході в частотну область, тоді

$$W(j\omega)=\frac{1}{j\omega\tau+1}=k(\omega)\cdot e^{j\varphi(\omega)};$$

Здійснимо деякі перетворення з цим вираженням. Помножимо і розділимо його на комплексне число $(-j\omega\tau+1)$ для того, щоб позбутися комплексної перемінної в знаменнику:

$$\frac{1\cdot(-j\omega\tau+1)}{(j\omega\tau+1)\cdot(-j\omega\tau+1)}=\frac{1-j\omega\tau}{1+\omega^2\tau^2}=a+jb.$$

В загальному вигляді це можна представити звичайним комплексним числом. Тоді модуль цього числа:

$$k=\sqrt{a^2+b^2},\ k(\omega)=\sqrt{\left(\frac{1}{1+\omega^2\tau^2}\right)^2+\frac{\omega^2\tau^2}{\left(1+\omega^2\tau^2\right)^2}}=\sqrt{\frac{1+\omega^2\tau^2}{\left(1+\omega^2\tau^2\right)}},$$

$$k(\omega)=\sqrt{\frac{1}{1+\omega^2\tau^2}}.$$

Визначимо граничну частоту кола.

$\sqrt{\frac{1}{1+\omega^2\tau^2}}=\frac{1}{\sqrt{2}};\frac{1}{1+\omega^2\tau^2}=\frac{1}{2};$ Тобто: $\omega^2\tau^2=1;\omega\tau=1;\omega_{гр}=\frac{1}{\tau};f_{гр}=\frac{1}{2\pi\tau}.$

в) Фазочастотна характеристика (рис. 2.10).

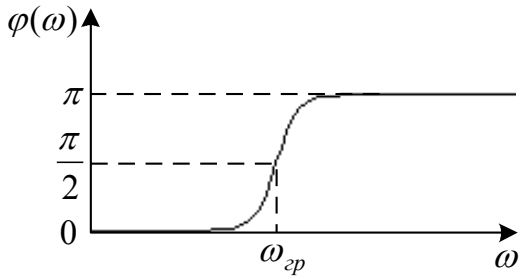


Рисунок 2.10 - ФЧХ інтегруючого кола

Так само як і k (ω) може бути визначена з геометричного представлення комплексних чисел:

$$tg\varphi=\frac{b}{a}\rightarrow \text{Звідси } \varphi=arctg\frac{b}{a}.$$

$$\text{Або}\,\varphi(\omega) = arctg\,\frac{-\omega\tau\cdot(1+\omega^2\tau^2)}{(1+\omega^2\tau^2)\cdot 1} = arctg\,(-\omega\tau);$$

$$\varphi(\omega) = arctg\,(-\omega\tau).$$

г) Перехідна характеристика.

Відомо, що в лінійному колі 1-го порядку (якщо в ньому діють лише джерела постійного струму (напруги)) можна записати вираз $f_{вих}(t)$ для будь-якої перехідної напруги (струму) як:

$$f_{вих}(t) = f_{вих}(\infty)\left[f_{вих}(\infty) - f_{вих}(0)\right]\cdot e^{-\frac{t}{\tau}},$$

де $\tau = RC$.

При подачі на вхід інтегруючого RC-кола східчастого сигналу виду $1(t)$ напруги на ємності буде змінюватися по експоненціальному закону.

$$f_{вих} = f_{вих}(\infty) - \left[f_{вих}(\infty) - f(0)\right]\cdot e^{-\frac{t}{\tau}};\; f_{вих}(\infty) = \mathrm{E};\; f(0) = 0;$$

$$f_{вих} = E - Ee^{-\frac{t}{\tau}} = E(1-e^{-\frac{t}{\tau}}).\ \text{Або}\ f_{вих}(t) = f_{вх}(t)(1-e^{-\frac{t}{\tau}});$$

$$h_c(t) = \frac{f_{вих}(t)}{f_{вх}(t)} = \frac{f_{вх}(t)}{f_{вх}(t)}\cdot(1-e^{-\frac{t}{\tau}});$$

$$h_c(t) = 1-e^{-\frac{t}{\tau}}.$$

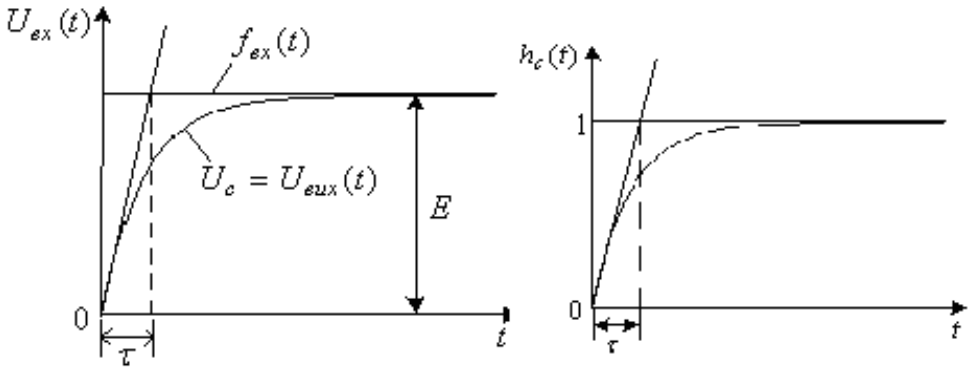


Рисунок 2.11 - Перехідна характеристика інтегруючого кола

Проаналізуємо проходження імпульсів через інтегруючі RC – кола.

а) Імпульс прямокутної форми (рис. 2.12).

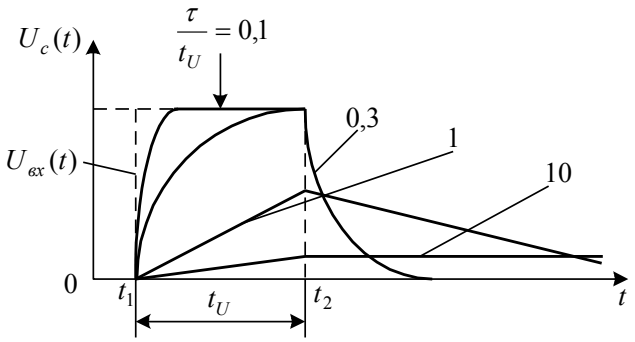


Рисунок 2.12 – Аналіз імпульсу прямокутної форми

На вхід надходить імпульс прямокутної форми. Скористаємося методом суперпозиції для знаходження U_c. Розкладемо $U_{вх}(t)$ на два елементарних стрибкоподібних сигнали $U_{вх_1}(t)$ і $U_{вх_2}(t)$:

$$U_{вх_1} = E \cdot 1(t - t_1);\ U_{вх_2} = E \cdot 1(t - t_2).$$

б) Імпульс трапецієподібної форми (рис. 2.13).

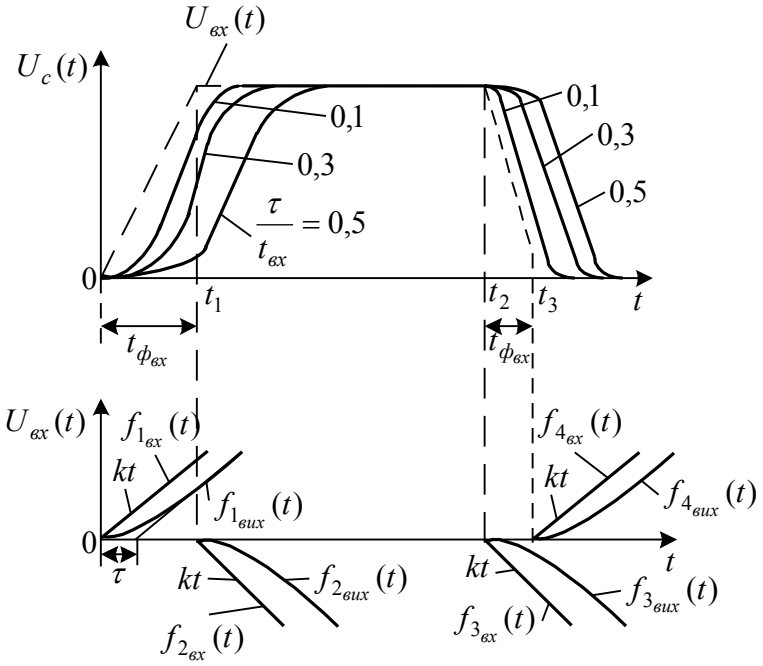


Рисунок 2.13 - Аналіз імпульсу трапецієподібної форми

Скористаємося методом суперпозиції для знаходження U_c. Розкладемо $U_{вх}(t)$ на чотири елементарних лінійно-змінної напруги.

$$U_{вх_1}(t) = kt \cdot 1(t);$$

$$U_{вх_2}(t) = k(t - t_1) \cdot 1(t - t_1);$$

$$U_{вх_3}(t) = k(t - t_2) \cdot 1(t - t_2);$$

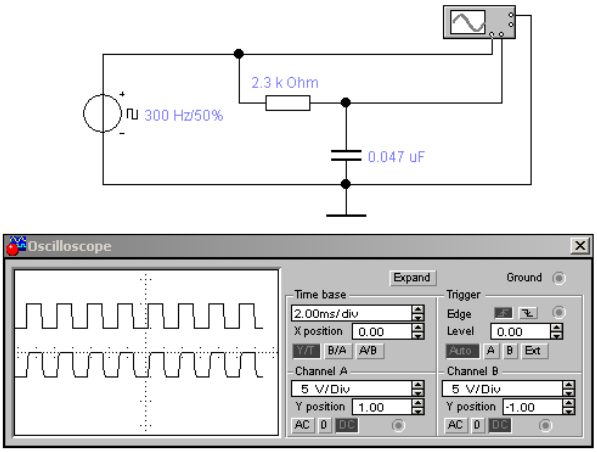
$$U_{вх_4}(t) = k(t - t_3) \cdot 1(t - t_3).$$

При досить великих τ форма імпульсів близька до пилкоподібної форми, амплітуда дорівнює

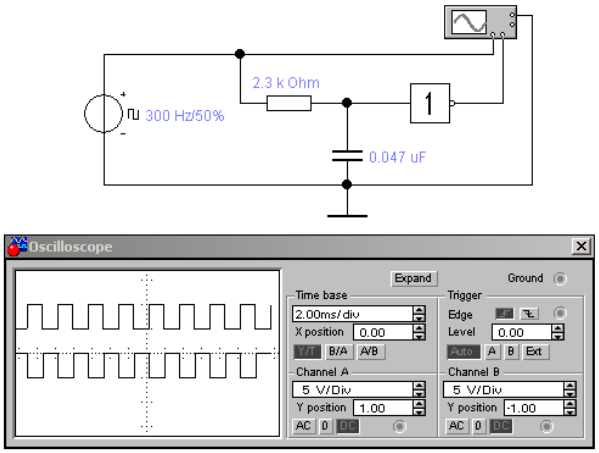
$$U_{вих} = \frac{E \cdot \tau}{t_{ф_{вх}}}.$$

При дуже малих τ форма імпульсів наближається до форми вхідного сигналу.

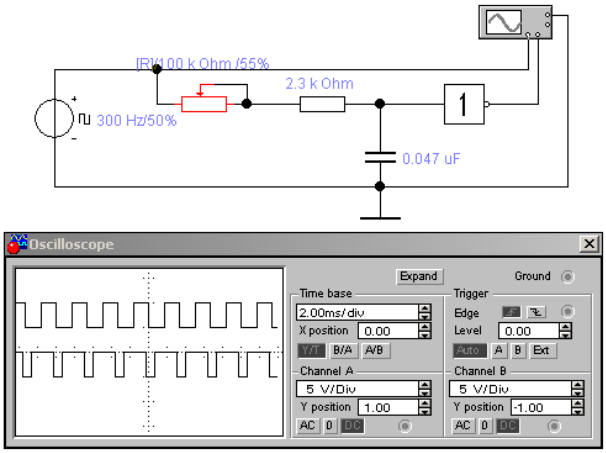
Проведемо аналіз функціонування інтегруючого ланцюга в програмному забезпеченні Electronics Workbench. На рисунку (рис. 2.14) показана послідовність проведення досліджень параметрів фрагментів інтегратора. Форма вихідного сигналу (рис. 2.14 а) залежить від заряду ємності. Для подальшого перетворення тривалості імпульсів необхідно до виходу підключити формувачі, у якості яких обираємо інвертори (рис. 2.14 б). Параметри імпульсів повинні також залежати від освітленості фотоприймача, для подальшого орієнтування на сонце панелі. Таким чином тривалість імпульсів міняється залежно від постійної часу інтеграції, яка, у свою чергу, залежить від освітленості фотоприймача, який в схемі імітується змінним резистором (рис. 2.14 в). У результаті дослідження виявлено, що при зміні опору змінного резистора (зміні освітленості фотоприймача), змінюється тривалість вихідного сигналу. Якщо в схемі замість одного фото транзистора, як рекомендовано на рисунку 1.7, використати два фотодіода, які включені в два інтегруючих ланцюга, на виходах загальної схеми, в залежності від опорів змінних резисторів (освітленості фотодіодів), отримаємо імпульсні сигнали різної тривалості (рис. 2.15). Це необхідно для подальшого розвитку функціонування схеми.



а



б



в

Рисунок 2.14 – Аналіз функціонування схеми інтегруючого кола

Для обробки отриманих сигналів різної тривалості необхідно побудувати схему порівняння вихідних кодів – цифровий компаратор.

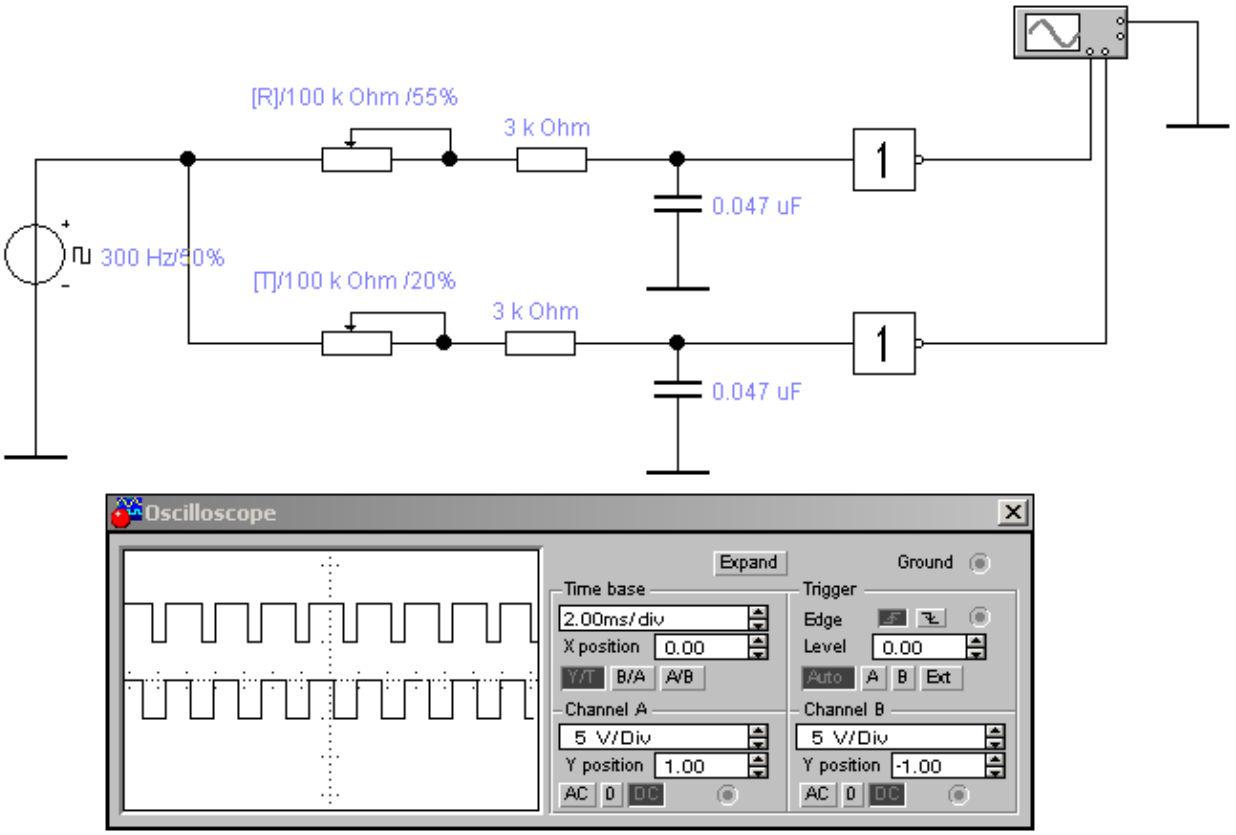


Рисунок 2.15 – Аналіз функціонування блоку інтегруючих кіл

2.3 Аналіз та розробка функціонування компаратора

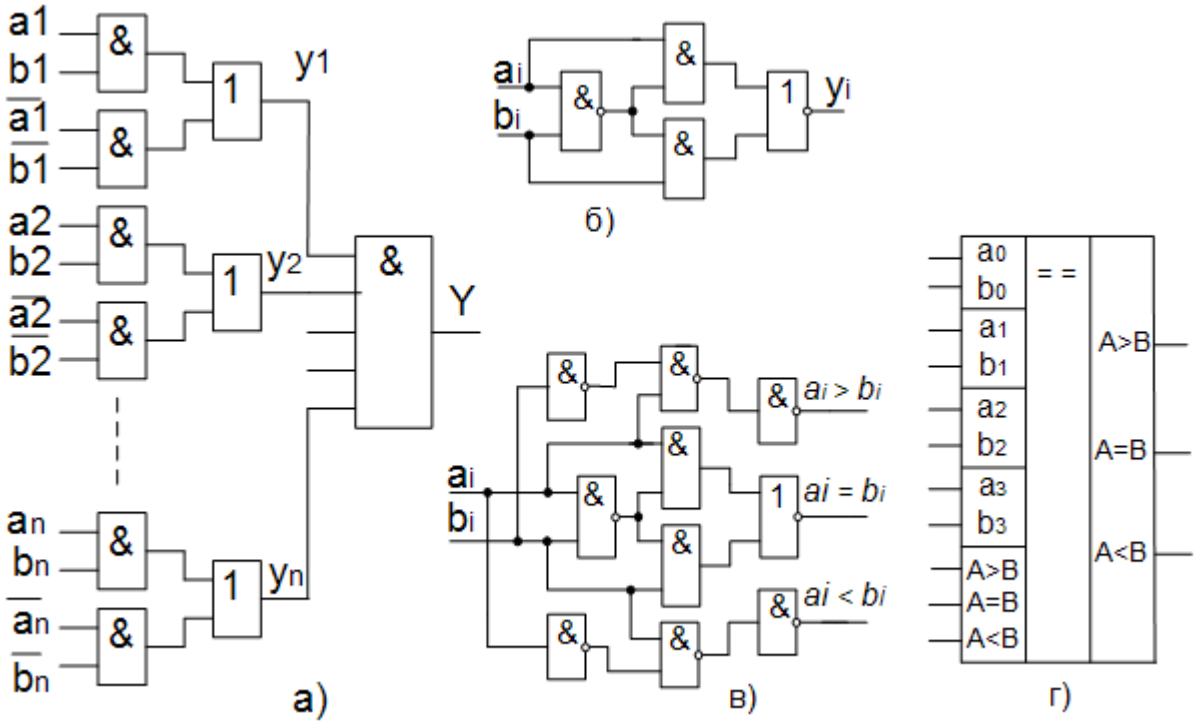
Пристрої порівняння кодів призначені для вироблення вихідного сигналу у разі, коли коди двох чисел, що поступають на їх входи, виявляються однаковими [11].

Числа А і В вважаються рівними, якщо розрядні коефіцієнти чисел А і В виявляються однаковими, тобто, якщо $A_i = B_i = 1$ бо $A_i = B_i = 0$. Цю рівність можна привести до одного: $A_i B_i + \overline{A}_i \overline{B}_i = 1$. Оскільки ця рівність виконується для кожного розряду, то вихідний сигнал Y можна представити у вигляді логічної функції:

$$Y = \left(a_1 b_1 + \overline{a}_1 \overline{b}_1\right) \cdot \ldots \cdot \left(a_n b_n + \overline{a}_n \overline{b}_n\right) = \prod_{i=1}^{n} \left(a_i b_i + \overline{a}_i \overline{b}_i\right),$$

де n – число розрядів.

Структурна схема пристрою порівняння кодів, складена на підставі приведеного вище рівняння приведена на рисунку 2.16 а. Вихідний сигнал Y=1 матиме місце лише за умови, якщо будуть одиничними результати порівняння у всіх розрядах порівнюваних чисел.



а) – структурна схема;

б) – мінімізований варіант схеми порівняння в одному розряді;

в) – однорозрядний компаратор;

г) – умовне графічне позначення чотирьохрозрядного компаратора

Рисунок 2.16 - Пристрої порівняння кодів

Недоліком розглянутої схеми є велике число входів, оскільки для роботи пристрою потрібні не лише прямі, але і інверсні коди чисел А і В [12].

На основі законів алгебри логіки розроблені пристрої порівняння, які працюють лише з прямими кодами.

$$f_i = \overline{\overline{a_i b_i + \bar{a}_i \bar{b}_i}} = \overline{\overline{a_i b_i} \cdot \overline{\bar{a}_i \bar{b}_i}} = \overline{\bar{a}_i \bar{b}_i \left(a_i + b_i\right)}$$

Схема однорозрядного елемента порівняння, побудована на підставі цього рівняння, приведена на рисунку 2.16 б. Функціональна схема, побудована на цих елементах, матиме удвічі менше число входів.

Цифрові компаратори є універсальними елементами порівняння, які окрім констатації рівності двох чисел, можуть встановити яке з них більше.

Просте завдання полягає в порівнянні двох однорозрядних чисел. Схема однорозрядного компаратора приведена на рисунку 2.16 в. При розгляді принципу роботи схеми слід мати на увазі, що якщо $a_i < b_i$, то $a_i = 0$, а $b_i = 1$ і, навпаки.

Для порівняння багаторозрядних чисел використовується наступний алгоритм. Спочатку порівнюються значення старших розрядів. Якщо вони різні, то ці розряди і визначають результат порівняння. Якщо вони рівні, то необхідно порівнювати наступні за ними молодші розряди, і так далі.

Цифрові компаратори випускають у вигляді окремих мікросхем. Наприклад, К561ИП2 дозволяє порівнювати два чотирьохрозрядних числа з визначенням знаку нерівності. Умовне графічне позначення цієї мікросхеми приведене на рисунку 2.16 г.

Для реалізації схеми компаратора в пристрої слідкування за Сонцем використовуємо схему логічного складання по модулю два, алгоритм функціонування якої представлений в табл. 2.1.

Таблиця 2.1 - Алгоритм функціонування схеми порівняння

A	B	F_1	F_2
0	0	0	0
0	1	1	0
1	0	0	1
1	1	0	0

Рівняння функціонування схеми:

$$F_1 = \overline{A}_i B_i;\ F_2 = A_i \overline{B}_i$$

Проведемо аналіз функціонування компаратора в програмному забезпеченні Electronics Workbench (рис. 2.17).

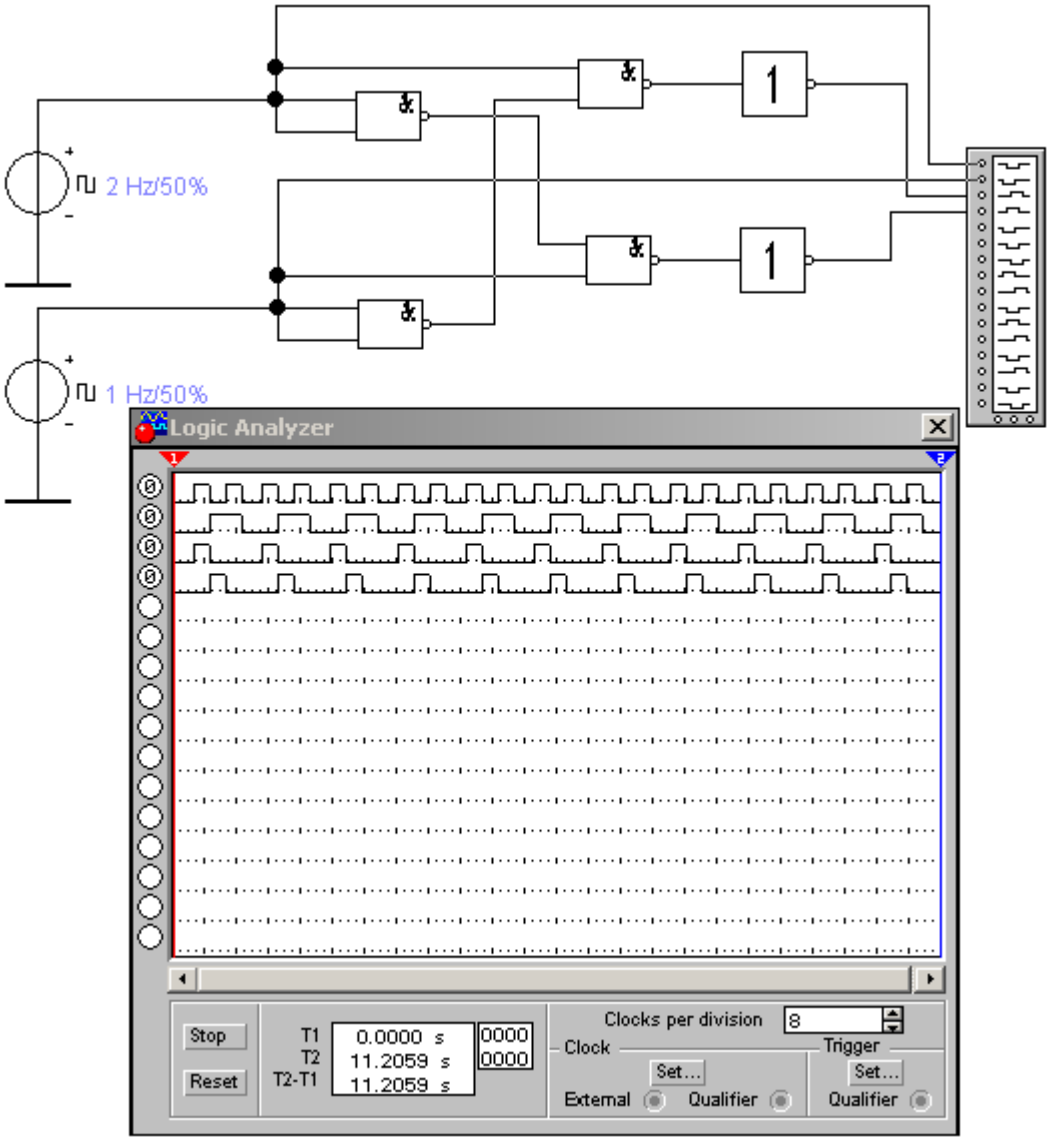


Рисунок 2.17 – Аналіз функціонування компаратора

Діаграма функціонування показує, якщо сигнали однакові (обидва фотодіоди засвітлені, або затінені), на обох виходах компаратора логічні нулі. Коли сигнали на входах різної полярності (засвітлений один із фотодіодів), на виходах сигнали протилежних рівнів. Такий алгоритм функціонування дозволяє побудувати схему керування направленням обертання електродвигуна. Схема комутатора реалізована на транзисторах, навантаженням яких є транзисторні ключі, які комутують обмотки електродвигуна.

2.4 Дослідження функціонування пристрою слідкування за Сонцем

Загальна функціональна схема пристрою слідкування за Сонцем представлена на рисунку 2.18.

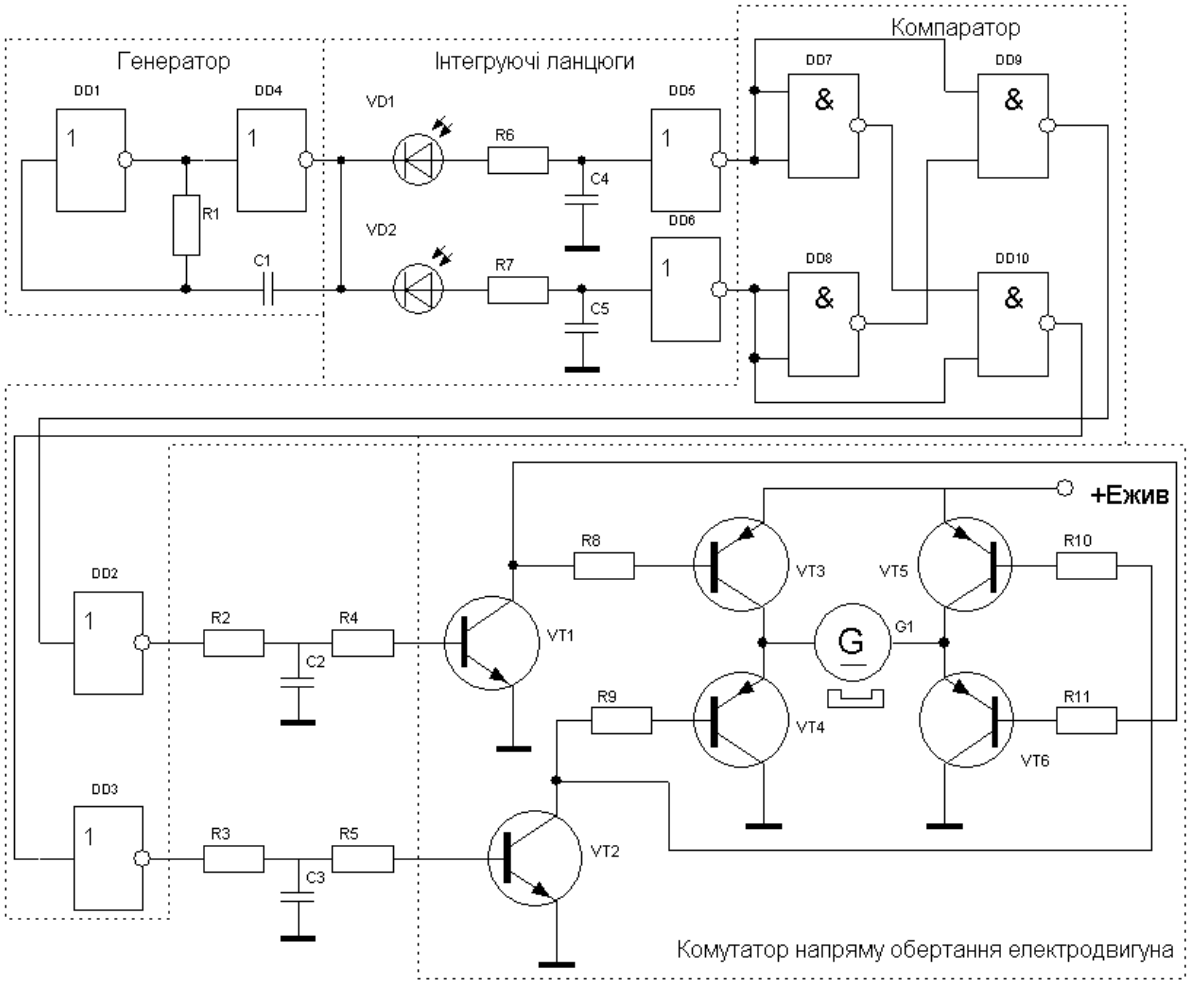


Рисунок 2.18 - Функціональна схема пристрою слідкування за Сонцем

Він складається з тактового генератора (DD1, DD4), двох інтегруючих ланцюгів (VD1R6C4, VD2R7C5), двох формувачів (DD5, DD6), цифрового компаратора (DD7, DD8, DD9, DD10), двох інверторів (DD2, DD3) і транзисторного комутатора (VT1—VT6) напряму обертання електродвигуна G1, керуючого поворотом платформи, на якій встановлена сонячна батарея.

З подачею живлення (від самої сонячної батареї або від акумулятора) генератор на елементах DD1, DD4 починає виробляти тактові імпульси, з частотою близько 300 Гц.

При роботі пристрою порівнюється тривалість імпульсів, сформованих інверторами DD5, DD6 і інтегруючими ланцюгами VD1R6C4, VD2R7C5. Їх тривалість міняється залежно від постійної часу інтеграції, яка, у свою чергу, залежить від освітленості фотодіодів VD1 і VD2 (струм зарядки конденсаторів С4 і С5 пропорційний їх освітленості).

Сигнали з виходів інтегруючих ланцюгів поступають на формувачі рівня DD5, DD6 і далі — на цифровий компаратор, виконаний на елементах DD7, DD8, DD9, DD10. Залежно від співвідношення тривалості імпульсів, що поступають на входи компаратора, сигнал низького рівня з'являється на виході елементу DD9 або DD10. При рівній освітленості фотодіодів на обох виходах компаратора присутні сигнали високого рівня.

Інвертори DD2 і DD3 необхідні для управління транзисторами VT1 і VT2. Високий рівень сигналу на виході першого інвертора відкриває транзистор VT1, на виході другого – VT2. Навантаженнями цих транзисторів є ключі на потужних транзисторах VT3, VT6 і VT4, VT5, які комутують напругу живлення електродвигуна G1. Ланцюги R2C2R4 і R3C3R5 згладжують пульсації на базах управляючих транзисторів VT1 і VT2. Напрям обертання двигуна міняється залежно від полярності підключення до джерела живлення. Цифровий компаратор не дозволяє одночасно відкритися всім ключовим транзисторам, і, таким чином, забезпечує високу надійність системи.

В пристрої застосовані мікросхеми серій К561. Транзистори КТ315А, КТ814А. У останньому випадку між емітерами і базами транзисторів VT3 – VT6 слід включити резистори опором 1...10 кОм, аби запобігти їх випадковому відкриттю унаслідок значного зворотного струму (рис. 2.19).

Зі сходом сонця освітленість фотодіодів VD1 і VD2 виявиться різною, і електродвигун почне повертати сонячну батарею із заходу на схід. У міру зменшення різниці в тривалості імпульсів, що виробляються формувачами, зменшуватиметься тривалість результуючого імпульсу, і швидкість повороту сонячної батареї плавно сповільниться, що забезпечить її точне позиціювання.

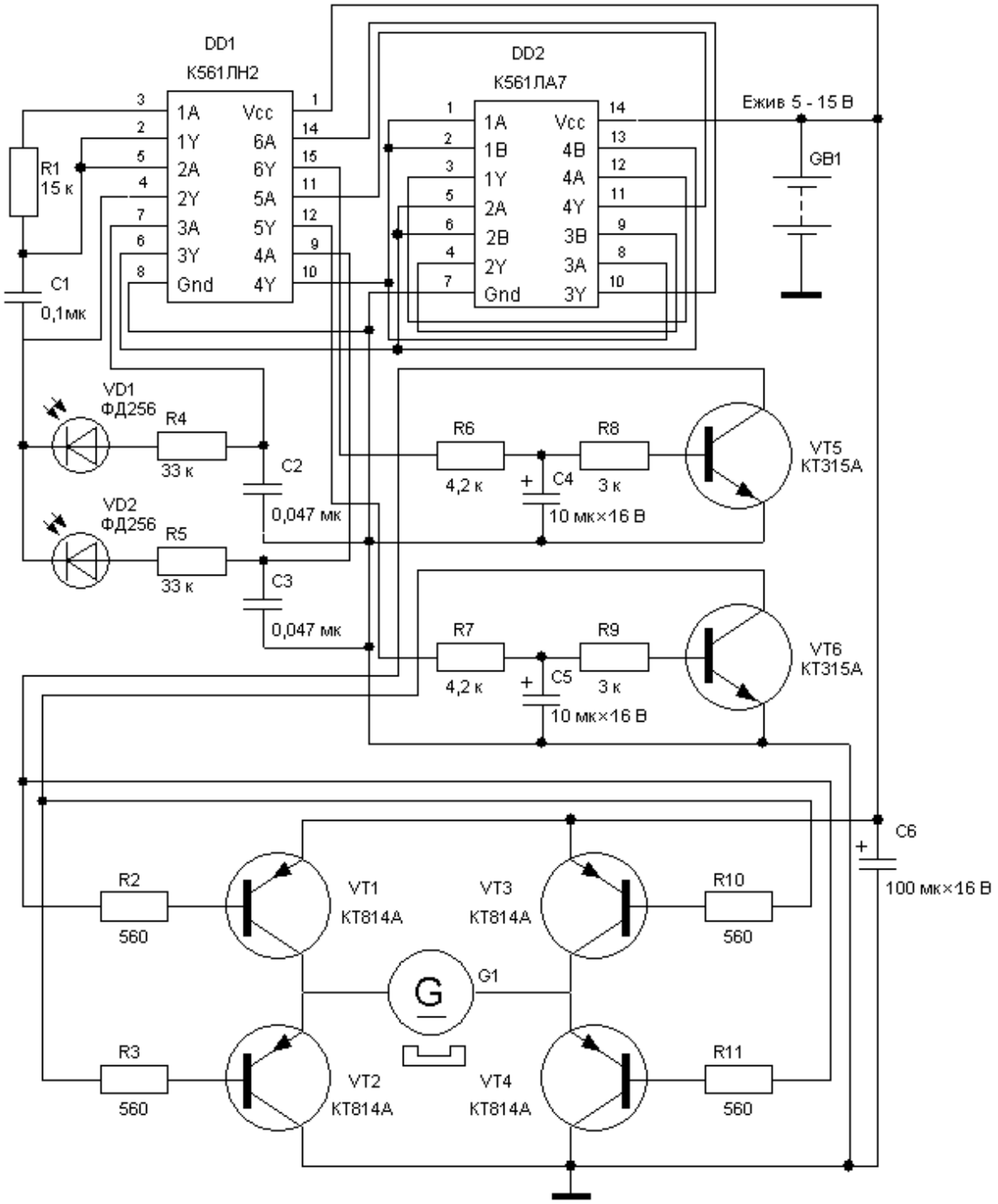


Рисунок 2.19 – Схема електрична принципова поворотної системи для підвищення енергоефективності функціонування сонячних панелей

Таким чином, при імпульсному управлінні обертання валу електродвигуна можна передавати платформі з сонячною батареєю безпосередньо, без вживання редуктора.

Протягом дня платформа з сонячною батареєю буде обертатися услід за рухом сонця. З настанням сутінків тривалості імпульсів на вході цифрового компаратора виявляться однаковими, і система перейде в черговий режим. У цьому стані споживаний пристроєм струм не перевищує 1,2 мА (у режимі орієнтації він залежить від потужності двигуна). Акумулятор пристрою слідкування за Сонцем використовується для накопичення енергії, виробляємої сонячною батареєю і живлення самого електронного блоку. Оскільки електродвигун включається лише для повороту батареї (тобто на нетривалий час), вимикач живлення не передбачений.

Розроблений пристрій орієнтує сонячну батарею в горизонтальній площині. Проте при її позиціюванні слід враховувати географічну широту місцевості і пору року. Якщо доповнити конструкцію блоком вертикального відхилення, зібраним за аналогічною схемою, можна повністю автоматизувати орієнтацію батареї в обох площинах.

Замість фотодіодів ФД256 допустимо використовувати окремі сонячні елементи самої батареї (включені з дотриманням полярності), фототранзистори без ланцюгів зсуву, а також фоторезистори, наприклад, СФ2, СФЗ. Слід лише підібрати (змінний опір резистора R1) частоту тактового генератора по надійному спрацьовуванню цифрового компаратора.

Всі деталі пристрою змонтовані на печатній платі (рис. 2.20) з двостороннього фольгованого склотекстоліту.

Транзистори VT3 – VT6 пригвинчені до плати і забезпечені тепловідводами Г-подібної форми площею близько 10 см^2, зігнутими із смужок листового алюмінієвого сплаву завтовшки 1,5 мм.

При використанні потужнішого електродвигуна ці транзистори розміщують поза платою на окремих тепловідвеннях, які забезпечують ефективне теплорозсіяння.

Плата поміщена в герметичний пластмасовий корпус, закріплений на одному рівні з сонячною батареєю.

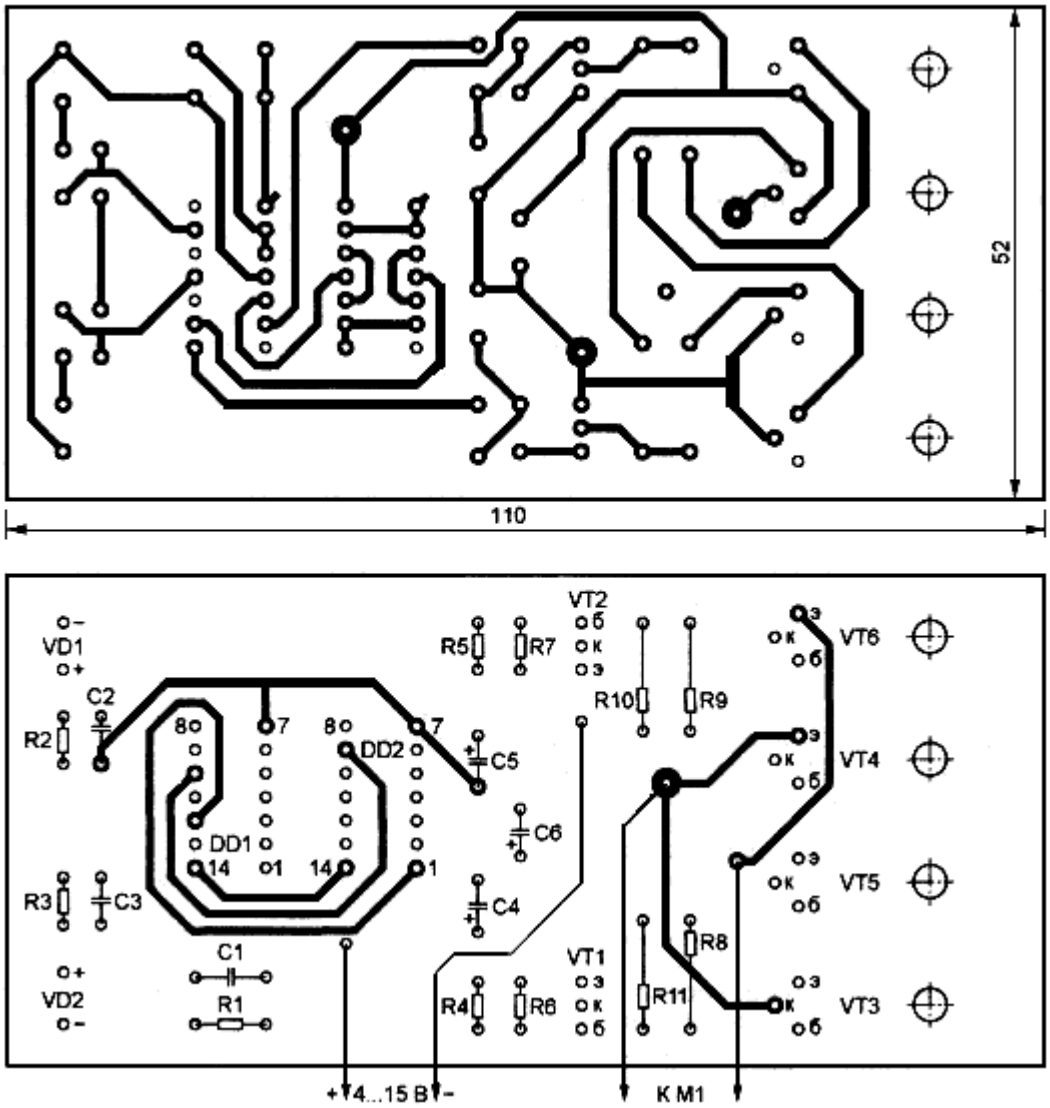


Рисунок 2.20 – Печатна плата з монтажем елементів пристрою орієнтування сонячної батареї на Сонце

Для захисту фотодіодів від надлишкового опромінення застосований зелений світлофільтр. Між фотодатчиками поміщають непрозору шторку. Її закріплюють перпендикулярно платі з таким розрахунком, аби при зміні кута освітлення вона затінювала один з фотодіодів.

Сонячна батарея встановлена на платформі, під якою змонтований електродвигун МП-3-015 (напруга живлення 6 В), що обертає її в горизонтальній площині.

Можливе вживання потужнішого двигуна, в якого напрям обертання валу також змінюється залежно від полярності напруги.

До батареї через струмоз’ємник підключений акумулятор, зарядний струм якого відповідає максимальному струму, що виробляється батареєю. Чутливість така, що батарея упевнено орієнтується по світловому потоку від лампи МН 2,5 В-0,15А, що знаходиться на відстані 3 м від фотодатчиків.

Розроблений пристрій слідкування за Сонцем функціонує згідно з поставленими вимогами і дозволяє орієнтувати геліосистеми на сонце.

Автономне живлення схеми пристрою дозволяє використовувати його незалежно від зовнішніх електричних мереж.

3 Охорона праці та техногенна безпека при розробці поворотної системи слідкування за Сонцем

3.1 Характеристика потенційних небезпечних та шкідливих виробничих факторів

Приміщення, в якому знаходиться робоче місце елекронщика, має такі характеристики: довжина приміщення 6.5 м; ширина приміщення 3.7 м; висота приміщення 3.5 м; число вікон 2; число робочих місць 3; освітлення природне (через бічні вікна) і загальне штучне.

На рисунку 3.1 наведено план розташування робочих місць електронщиків. На робочому місці електронщик піддається впливу наступних несприятливих факторів [13]:

- недостатнє освітлення;

- шум від працюючих машин (комп’ютерів, робочих стендів) На даному робочому місці шум непостійний. Джерелом шуму є робочі стенди. Шум діє на робітника протягом 5 годин;

- електромагнітне випромінювання;

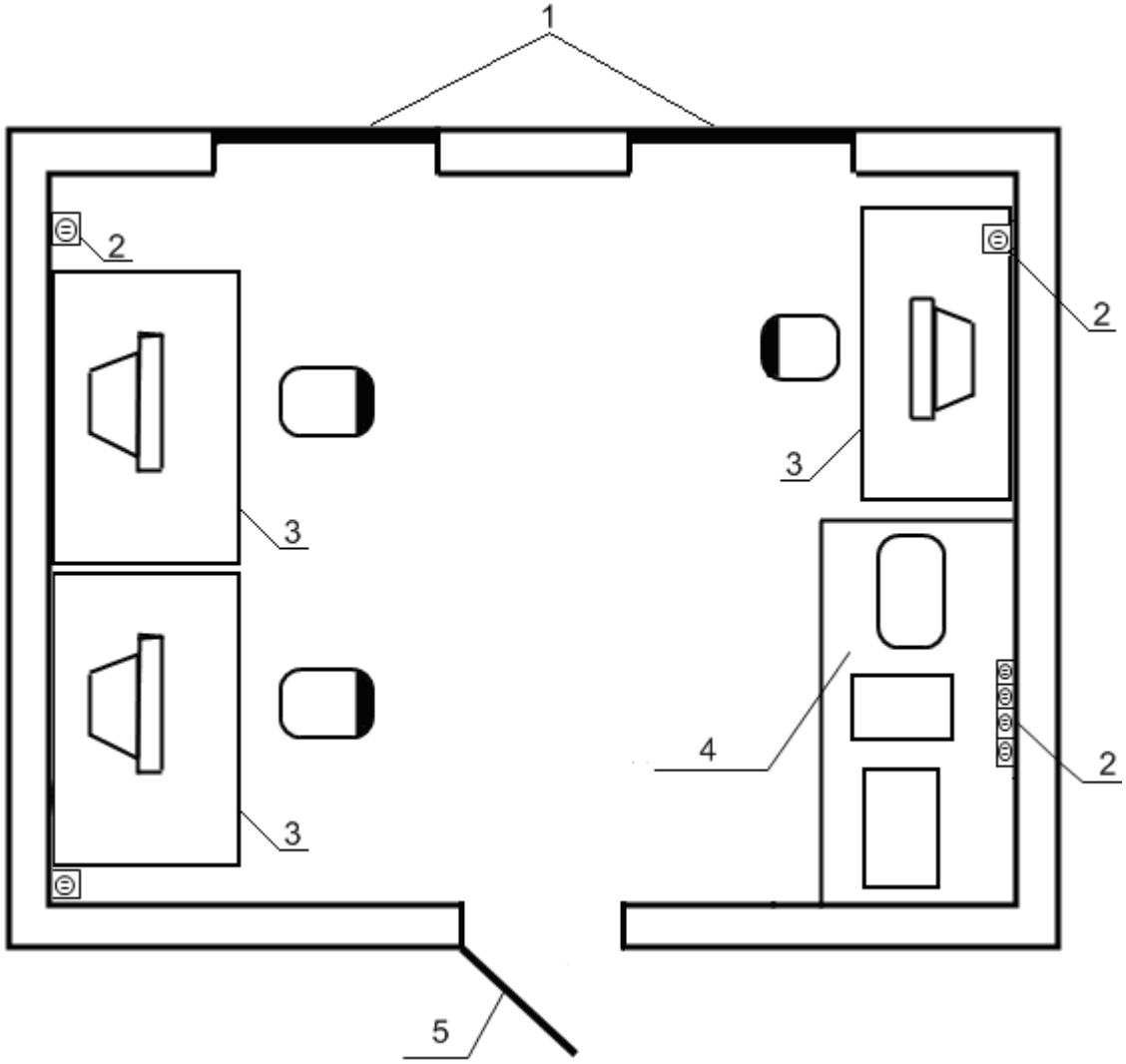
- виділення надлишків теплоти;

- підвищена запиленість.

Розвитку стомлюваності на робочому місці сприяють такі чинники [14]:

- неправильна ергономічна організація робочого місця, нераціональні зони розміщення обладнання по висоті від підлоги, по фронту від осі симетрії;

- характер протікання праці. Трудовий процес організований таким чином, що електронщик змушений з перших хвилин робочого дня вирішувати найбільш складні і трудомісткі задачі, у той час як у перші хвилини роботи функціональна рухливість нервових клітин мозку низька.



1 – вікна;

2 – розетка;

3 – робоче місце;

4 – місце для стендів;

5 – двері

Рисунок 3.1 – План розташування робочих місць електронщиків

Важливе значення має чергування праці та відпочинку, зміна одних форм роботи іншими.

Джерела небезпечних та шкідливих чинників на електронщика [15]:

- рівень шуму в приміщенні протягом робочого дня непостійний. При цьому протягом однієї години діє шум з рівнем звуку 83 дБА, протягом наступних двох годинників ¾ з рівнем звуку 86 дБА, останню годину ¾ 81 дБА

при тому що норматив повинен бути не більше 70 дБА. Отже, робоче місце по показнику рівня шуму відноситься до класу умов праці 3.2 – шкідливий.

- основним джерелом електромагнітного випромінювання приміщення є персональні комп'ютери з системними блоками Intel Pentium і моніторами SVGA Samsung, SyncMaster 850b.

3.2 Заходи з зменшення впливу небезпечних та шкідливих виробничих факторів

До засобів захисту відносяться: вентиляція, штучне освітлення, звукоізоляція. Існують нормативи, що визначають комфортні умови і гранично допустимі норми запиленості, температури повітря, шуму, освітленості. У системі заходів, що забезпечують сприятливі умови праці, велике місце відводиться естетичним чинникам: оформлення виробничого інтер'єру, обладнання, застосування музики та інші, які мають певний вплив на організм людини. Важливу роль відіграє забарвлення приміщень, яка повинна бути світлою. З метою запобігання або зменшення впливу на працюючих шкідливих і небезпечних виробничих чинників застосовують засоби колективного та індивідуального захисту.

Засоби колективного захисту призначені для [15]:

1. Нормалізації повітряного середовища виробничих приміщень і робочих місць (вентиляція, кондиціонування, опалення, автоматичний контроль і сигналізація);

2. нормалізації освітлення виробничих приміщень і робочих місць (джерела світла, освітлювальні прилади, світлозахисне обладнання, світлофільтри). При недоліку природного освітлення необхідно буде користуватися штучним. Як джерела світла при штучному освітленні рекомендується застосовувати переважно люмінесцентні лампи типу ЛБ;

захисту від іонізуючих, інфрачервоних, ультрафіолетових, електромагнітних, лазерних, магнітних та електричних полів (огородження, герметизація, знаки безпеки, автоматичний контроль і сигналізація, дистанційне керування тощо);

3. Захисту від шуму, вібрації (огородження, звукоізоляція, віброізоляція). Для зменшення рівня шуму, який перевищує норму в лабораторному приміщенні можна застосовувати оздоблювальні матеріали з шумопоглинаючим ефектом;

4. Захисту від ураження електричним струмом (різні види огородження, захисне заземлення, автоматичне відключення, дистанційне керування).

5. Забезпечення недоступності струмоведучих частин досягається ізолюванням струмовідних кабелів і проводів;

6. Захисту від дії механічних факторів (огородження, автоматичний контроль і сигналізація, знаки безпеки);

7. Захисту від хімічних факторів (огородження, герметизація, вентиляція та очищення повітря, дистанційне керування, знаки безпеки);

8. Захисту від високих і низьких температур навколишнього середовища (огородження, автоматичний контроль і сигналізація, термоізоляція, дистанційне керування).

3.3 Виробнича санітарія

Оскільки у приміщенні присутнє лабораторне устаткування, комп’ютери, шафи та робоча документація, то спостерігається деяка запиленість. За нормою запиленість в приміщенні не повинна перевищувати 4 мг/м³, а в даному приміщенні вона складає 4,5 мг/м³.

Для запобігання дещо підвищеної запиленості рекомендується встановлювати пиловловлювачі, витяжні пристрої, а також проводити вологе прибирання лабораторного приміщення, а перед початком і після кожної академічної години навчальних занять, до і після кожного заняття провітрювати

приміщення, що забезпечить поліпшення якісного складу повітря.

Раціональне колірне оформлення приміщення направлено на поліпшення санітарно-гігієнічних умов праці, підвищення її продуктивності та безпеки. Забарвлення приміщень впливає на нервову систему людини, його настрій і в кінцевому рахунку на продуктивність праці. Основні виробничі приміщення доцільно офарблювати відповідно до кольору технічних засобів. Освітлення приміщення і устаткування має бути м'яким, без блиску.

Зниження шуму, створюваного на робочих місцях лабораторного приміщення внутрішніми джерелами, а також шуму проникаючого зовні, є дуже важливим завданням. Зниження шуму в джерелі випромінювання можна забезпечити застосуванням пружних прокладок між підставою приладу і опорною поверхнею. Як прокладки використовуються гума, повсть, пробка, різної конструкції амортизатори. Під настільні шумливі апарати можна підкладати м'які килимки з синтетичних матеріалів, а під ніжки столів, на яких вони встановлені, - прокладки з м'якої гуми, повсті, завтовшки 6 - 8 мм. Кріплення прокладок можливе шляхом приклеювання їх до опорних частин [15].

Таким чином, для зниження шуму, створюваного на робочих місцях внутрішніми джерелами, а також шуму, який проникає з зовні необхідно:
послабити шум самих джерел (застосування екранів, звукоізолюючих кожухів);

- знизити ефект сумарної дії відбитих звукових хвиль (звукопоглинаючі поверхні конструкцій);

- застосовувати раціональне розташування обладнання;

- використовувати архітектурно-планувальні і технологічні рішення ізоляцій джерел шуму.

Температура в приміщеннях є одним з провідних чинників, що визначають метеорологічні умови виробничого середовища. Високі температури надають негативну дію на здоров'я людини. Робота в умовах високої температури супроводжується інтенсивним потовиділенням, що приводить до обе-

зводнення організму, втрати мінеральних солей і водорозчинних вітамінів, викликає серйозні і стійкі зміни в діяльності серцево-судинної системи, збільшує частоту дихання [14].

При низькій температурі висока відносна вологість збільшує тепловтрати організму в результаті інтенсивного поглинання водяними парами енергії випромінювання людини. Це веде до переохолодження організму – гіпотермії. Низька вологість викликає пересихання слизистих оболонок дихальних шляхів.

В приміщенні нормована температура повітря повинна складати в теплий період 22-24 ºС (в холодний період 21-23 ºС), відносна вологість 40-60 %, швидкість руху повітря 0,1-0,2 м/с.

Фактичні параметри: температура – 18-24 ºС, відносна вологість 45-60 %, швидкість руху повітря 0,15-0,2 м/с.

У приміщеннях, обладнаних ПЕВМ, повинна проводиться щоденне, вологе прибирання і систематичне провітрювання після кожної години роботи на ПЕВМ. Рівні позитивних і негативних аероіонів в повітрі приміщень, де розташовані ПЕВМ, повинні відповідати санітарно-епідеміологічним нормативам, що діють.

Світло є природною умовою життя людини, необхідною для збереження здоров'я і високої продуктивності праці, і заснованим на роботі зорового аналізатора. Недостатнє освітлення робочого місця утрудняє тривалу роботу, викликає підвищене стомлення і сприяє розвитку короткозорості. Дуже низькі рівні освітленості викликають апатію, сонливість, а в деяких випадках сприяють розвитку відчуття тривоги. Таким чином буде доцільно зробити розрахунок фактичної освітленості приміщення [15].

Для освітленості приміщення з розмірами А = 6,5 м, В = 3,7 м та висотою Н = 3,5 м використовуються 2 світильники ОДР з двома люмінесцентними лампами типа ЛБ - 40. Коефіцієнти віддзеркалення світлового потоку від стелі, стін і підлоги відповідно рівні $p_{стелі}$ = 70 %, $p_{стін}$ = 50 %, $p_{підл.}$ = 10

Затінювання робочих місць немає. Висота підвісу світильника $h_c = 0$, висота робочої поверхні над рівнем підлоги $h_p = 0{,}8$ м.

Нормативна величина освітленості для відеоплейних терміналів складає $E_н = 400$ лк.

При перевірці відповідності освітленості в приміщенні нормативному рівню, коли відома кількість світильників, ламп, їх тип і потужність. фактичну освітленість в приміщенні визначаємо по формулі:

$$E_ф = \frac{N \cdot F \cdot n \cdot \eta}{S \cdot z \cdot k_з}, \text{ (лк)} \qquad (3.1)$$

де N = 2 – число світильників, шт.;

F = 3120 лм – світловий потік лампи;

n = 2 – число ламп в світильнику;

S - площа освітлюваного приміщення;

z = 1,1 – коефіцієнт нерівномірності освітлення для люмінесцентних ламп (відношення $E_{сер} / E_{min}$);

$k_з = 1{,}5$ – коефіцієнт запас, що враховує зниження освітленості із-за забруднення і старіння лампи;

η – коефіцієнт використання освітлювальної установки.

Для визначення η необхідно знати тип світильника, індекс приміщення і коефіцієнт віддзеркалення світлового потоку від стелі, стін і підлоги. Оскільки тип світильника і коефіцієнти віддзеркалення світлового потоку відомі, то для знаходження η необхідно визначити значення індексу приміщення i.

$$i = \frac{A \cdot B}{h_n \cdot (A + B)} \qquad (3.2)$$

де A і B - відповідно довжина і ширина приміщення в м;

η_n - висота від робочої поверхні до світильника, визначається висотою приміщення (H, м) і висотою умовної робочої поверхні ($h_p = 0{,}8$ м) по формулі:

$$h_n = H - h_c - h_p = 3.5 - 0 - 0.8 = 2.7 \text{ (м)} \qquad (3.3)$$

Підставляємо набуте значення у формулу (3.2) і знаходимо індекс приміщення:

$$i = \frac{6.5 \cdot 3.7}{2.7 \cdot (65 + 3.7)} = \frac{24.05}{27.54} = 0.87$$

Підставляємо всі знайдені величини в формулу (3.1):

$$E_{ф} = \frac{2 \cdot 3120 \cdot 2 \cdot 0.89}{6.5 \cdot 3.7 \cdot 1.1 \cdot 1.5} = \frac{11107.2}{39.6825} = 279.9\text{, (лк)}$$

Оскільки отримана величина $E_ф < E_н$ для досягнення нормативної освітленості необхідно або збільшити кількість світильників, або збільшити потужність ламп. Порахуємо міру збільшення W:

$$W = \frac{E_{н}}{E_{ф}} = \frac{400}{279.9} = 1.42 \text{ разів}$$

Тепер можна обчислити необхідну кількість світильників:

$$N_1 = N \cdot W = 2 \cdot 1.43 = 2.84 \text{ шт.}$$

Збільшимо кількість світильників до 3 штук. Тоді

$$E_{ф} = \frac{5 \cdot 3120 \cdot 2 \cdot 0.89}{6.5 \cdot 3.7 \cdot 1.1 \cdot 1.5} = \frac{27768}{39.6825} = 699.7\text{, (лк)}$$

Таким чином, при збільшенні кількості світильників на три штуки фактична освітленість $E_ф$ практично відповідає нормативному значенню освітленості E_i = 400 лк.

Такий же ефект може бути отриманий при заміні лампи з великим світловим потоком. Порахуємо необхідний світловий потік лампи:

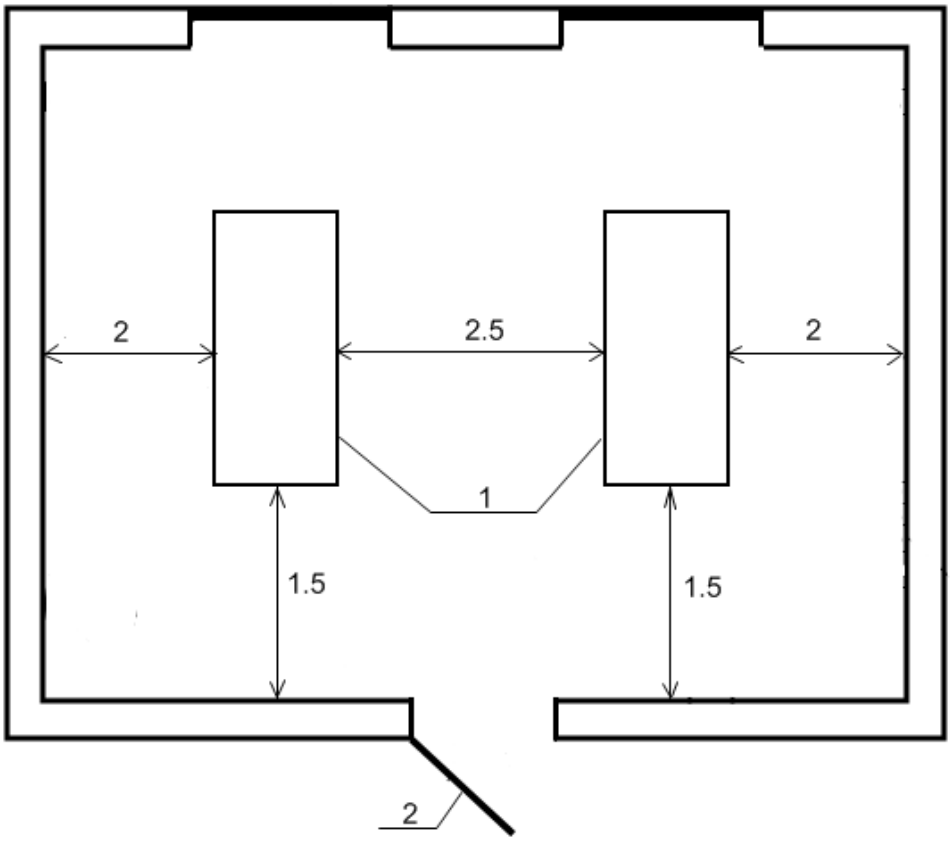
$$F_1 = F \cdot W = 3120 \cdot 1.42 = 4430.4\text{, (лм)}$$

Так, якщо всі лампи типа ЛБ-40 в приміщенні замінити на лампи типа ЛТБ-65 з F=3980 лм $E_ф$ буде рівне:

$$E_{ф} = \frac{2 \cdot 3980 \cdot 2 \cdot 0.89}{6.5 \cdot 3.7 \cdot 1.1 \cdot 1.5} = \frac{14168.8}{39.6825} = 357\text{, (лк)}$$

Таким чином, в цьому випадку фактична освітленість також практично відповідатиме нормативному значенню.

На рисунку 3.2 представлена схема розташування двох світильників, в кожному з яких знаходиться по дві лампи типу ЛТБ-65.



1 – світильник;

2 – двері

Рисунок 3.2 – План розташування світильників в лабораторному приміщенні розробки схеми поворотної системи

3.4 Електробезпека

Електричні установки, до яких відноситься практично все обладнання ЕОМ, представляють для людини велику потенційну небезпеку, тому що в процесі експлуатації або проведенні профілактичних робіт людина може торкнутися частин, що знаходяться під напругою. Специфічна небезпека електроустановок: струмоведучі провідники, корпуси стійок ЕОМ і іншого устат-

кування, що опинилося під напругою в результаті пошкодження (пробою) ізоляції, не подають будь-яких сигналів, які попереджають людину про небезпеку. Реакція людини на електричний струм виникає лише при протіканні останнього через тіло людини. Виключно важливе значення для запобігання електротравматизма має правильна організація обслуговування діючих електроустановок, проведення ремонтних, монтажних і профілактичних робіт. При цьому під правильною організацією розуміється строге виконання ряду організаційних і технічних заходів і засобів, встановлених діючими "Правилами технічної експлуатації електроустановок споживачів і правила техніки безпеки при експлуатації електроустановок споживачів" (ПТЕ і ПТБ споживачів) і "Правила установки електроустановок" (ПУЕ) Залежно від категорії приміщення необхідно вжити певних заходів, що забезпечують достатню електробезпеку при експлуатації і ремонті електроустаткування. Так, в приміщеннях з підвищеною небезпекою електроінструменти, переносні світильники повинні бути виконані з подвійною ізоляцією або напруга живлення їх не повинна перевищувати 42 В. В особливо небезпечних приміщеннях напруга живлення переносних світильників не повинна перевищувати 12 В [14].

Щоб захистити людину від ураження електричним струмом, захисне заземлення має задовольняти ряду вимог, викладених у ПУЕ. Ці вимоги залежать від напруги електроустановок та потужності джерела живлення. В електроустановках змінного струму напругою до 1000 В у мережі з ізольованою нетраллю або ізольованим виводом джерела однофазного струму опір заземлювального пристрою не повинен перевищувати 4 Ом.

Важливо відзначити, що якщо занулений корпус одночасно заземлений, то це тільки покращує умови безпеки, тому що забезпечує додаткове заземлення нульового захисного дроту.

3.5 Пожежна та техногенна безпека

Приміщення відноситься за вибухопожежною небезпекою до категорії “В” [15].

Основними причинами пожеж в даному приміщенні є:

- необережне поводження з вогнем;

- незадовільний стан електротехнічних пристроїв, порушення правил їх монтажу та експлуатації;

- невиконання вимог нормативних документів з питань пожежної безпеки.

Приміщення за класом пожеж відноситься до категорії “Е”. Це горіння обладнання та установок, які знаходяться під електричною напругою. Серед необхідних засобів гасіння пожежі в даному приміщені є два вуглекислих вогнегасники типу ОУ-2. Для мінімізації виникнення пожежі в даному приміщені вчасно проводиться профілактичний огляд та ремонт електроустаткування. В приміщенні є план евакуації згідно якого люди повинні залишити приміщення у разі виникнення пожежі.

Для евакуації людей на випадок пожежі, згідно СНіП 11-90-81, на поверсі є два евакуаційні виходи, розташованих в протилежних кінцях будівлі. Ширина дверей і сходів рівна 1,6 м, що відповідає нормі. Відстань від найбільш видаленого робочого місця до найближчого виходу – 15 м. Швидкість просування людей при евакуації – 16 м/хв.

У даній будівлі застосовують звукову систему сигналізації. При появі сигналу сповіщення про пожежу співробітники організовано без паніки покидають лабораторію і, залежно від місця спалаху, слідують або вліво через лабораторний корпус для виходу на вулицю Фанатську, або управо для виходу на вулицю Незалежної України (рис. 3.3).

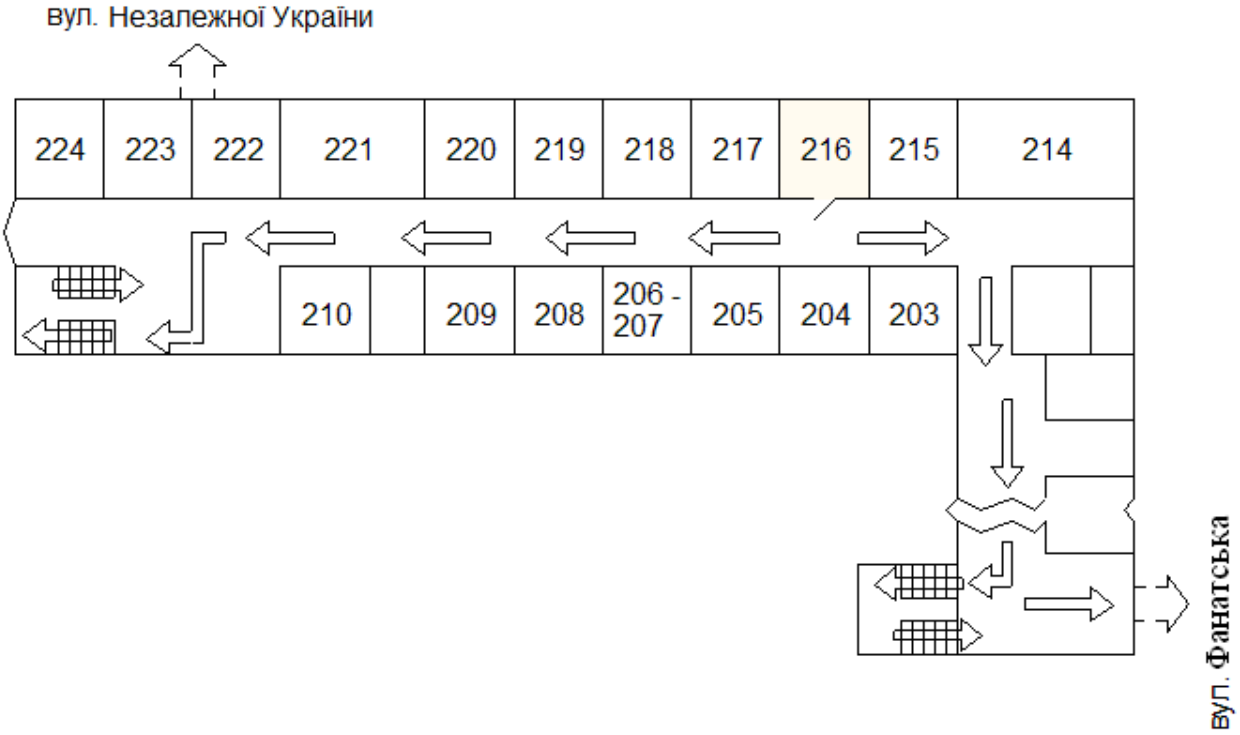


Рисунок 3.3 – План евакуації при пожежі із аудиторії

3.6 Розрахунок освітлення робочого місця монтажу елементів на плату поворотної системи

Загальний світловий потік визначається за формулою [14]:

$$Fз = \frac{Eн \cdot S \cdot z1 \cdot z2}{V}, \qquad (3.4)$$

де Ен - нормована освітленість (Ен=200лк), S - площа приміщення; z1 - коефіцієнт, що враховує старіння ламп і забруднення світильників (z1=1.5); z2 - коефіцієнт, який враховує нерівномірність освітлення приміщення (z2=1.1); V - коефіцієнт використання світлового потоку; визначається в залежності від коефіцієнтів відбиття від стін, стелі, робочих поверхонь, типів світильників і геометрії приміщення.

Площа приміщення:

$$S = A \cdot B = 8{,}5 \cdot 5{,}9 = 50{,}12 \text{ м}^2, \qquad (3.5)$$

Виберемо з таблиці [15] коефіцієнт використання світлового потоку за наступними даними:

- коефіцієнт відбиття білої стелі Rп = 70%;
- коефіцієнт відбиття від стін, забарвлених в світлу фарбу Rст = 50%;
- коефіцієнт відбиття від підлоги, покритої лінолеумом темного кольору Rр=10%;
- індекс приміщення

h = 4м – 0,725 = 3,275 м

$$I = \frac{A \cdot B}{h \cdot (A + B)} = \frac{8,5 \cdot 5,9}{3,275 \cdot (8,5 + 5,9)} = 1,06 \qquad (3.6)$$

Знайдений коефіцієнт V = 0.64 [14].

За формулою (3.1) визначаємо загальний світловий потік:

$$Fз = \frac{200 \cdot 50,12 \cdot 1,1 \cdot 1,5}{0,64} = 25873 \text{ лм}$$

Для організації загального штучного освітлення виберемо лампи типу ЛБ65. Люмінесцентні лампи мають ряд переваг перед лампами розжарювання: їх спектр ближче до природного; вони мають велику економічність (більше світловіддача) і термін служби (у 10-12 раз). Поряд з цим є й недоліки: їх робота супроводжується іноді шумом; гірше працюють при низьких температурах; їх не можна застосовувати у вибухонебезпечних приміщеннях; вони мають малу інерційність. Для нашого приміщення люмінесцентні лампи підходять.

Світловий потік однієї лампи ЛБ65 становить не менш Fл = 4600 лм. Число N ламп, необхідних для організації загального освітлення визначається за формулою:

$$N = \frac{Fз}{Fл} = \frac{25873}{4600} = 5,6 \qquad (3.7)$$

В якості світильників вибираємо ПВЛ-1, 1×65 Вт. Електрична потужність однієї лампи ЛБ65 Wл = 65 Вт.

Потужність всієї освітлювальної системи:

$$W = Wл \cdot N = 65 \cdot 6 = 390 \text{ Вт} \qquad (3.8)$$

Розміщення світильників ПВЛ-1, 1×65 Вт представлено на рисунку 3.4.

Таким чином, щоб забезпечити світловий потік Fз = 25873 лм в даному приміщенні використовується 6 світильників з 1 лампою ЛБ65 в кожному.

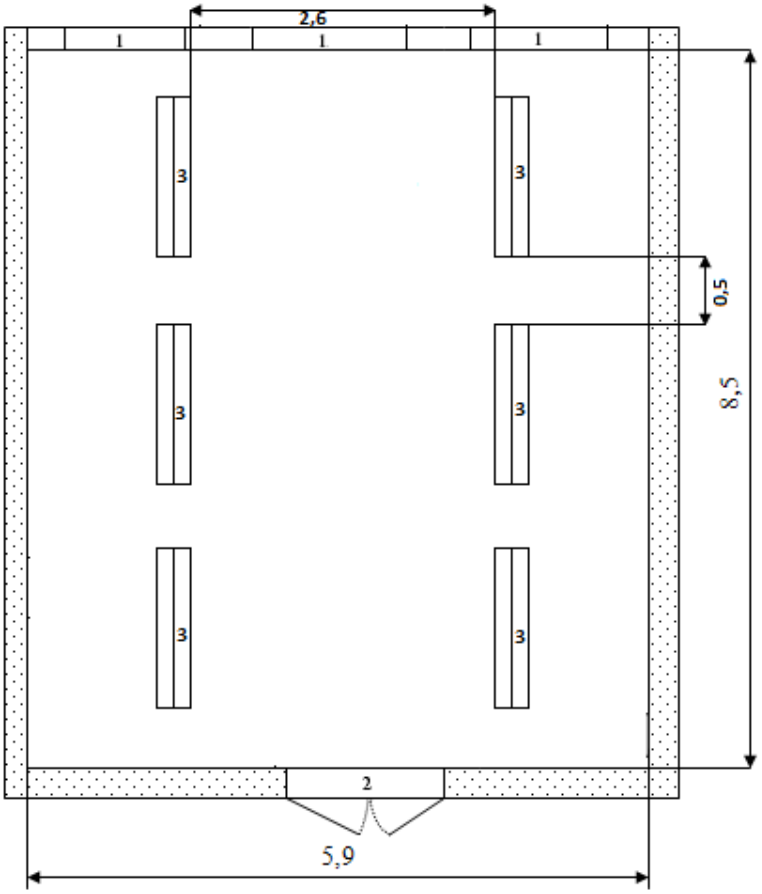


Рисунок 3.4 – План розташування світильників

Згідно з розрахунками освітленість приміщення відповідає встановленим нормам.

Висновки та рекомендації

1. Розроблена конструкція з використанням двох фотодіодів забезпечує отримання пристроїм слідкування за сонцем сигналів позиціювання прийомних панелей на сонце з більшою ефективністю в зрівнянні з існуючими аналогами.

2. Розроблена схема пристрою слідкування за сонцем з логічним керуванням направлення обертання електродвигунів дозволяє орієнтувати прийомні панелі на сонце, незалежно від їх розташування в період затемненого часу доби.

3. Автономне живлення дозволяє функціонувати пристрою слідкування за сонцем незалежно від зовнішніх мереж.

4. Аналіз функціонування схеми електричної пристрою слідкування за сонцем дозволяє переконатися в правильності перемикання сигналів, що управляють направленням обертання електродвигунів.

Рекомендується використовувати розроблену схему та конструкцію пристрою слідкування за сонцем в промислових та побутових приладах перетворення сонячної енергії.

Перелік посилань

1. Тарасенко А.Б., Кочаков В.Л, Терукова Е.Е. Техніко-економічні аспекти мережевої сонячної енергетики в Україні. Київ : Журнал технічної фізики, 2014. С. 85-92.

2. Попель О.С., Фрід С.Є., Альварес Г.М. До розрахунку надходження сонячної радіації на земну поверхню. Київ : Геліотехніка. №1, 1986. С. 56.

3. Фонаш С., Ротворф А., Казмірськи Л. Сучасні проблеми напівпровідникової фотоенергетики: Пер. з англ. Київ : Наукова думка, 1988. 456 с.

4. Шиняков Ю.А., Шуригін Ю.А., Аркатова О.Е. Підвищення енергетичної ефективності автономних фотоелектричних енергетичних установок. Електроніка, Вимірювальна Техніка, Радіотехніка та зв'язок. Доповіді ТУСУРа : № 2 (22). частина 2, 2010. С. 102.

5. Huang BJ, Ding WL, Huang YC. Long-term field test of solar PV power generation using one-axis 3-position sun tracker. Journal Sol Energy, 2016. №85(9), p. 44

6. Наумов А.В., Плеханов С.І. Розвиток сонячної енергетики на основі тонкоплівкових CIGS-елементів. Київ : Енергія: економіка, техніка, екологія. № 7, 2013. С. 14.

7. Бабієв Г.М., Дероган Д.В., Щокін А.Р. Перспективи впровадження нетрадиційних та відновлюваних джерел енергії в Україні. Електричний Журнал. Запоріжжя : ВАТ "Гамма", 1998. №1. С. 63-64.

8. Бойко В.І. та ін. Схемотехніка електронних систем. Кн. 1. Аналогова схемотехніка та імпульсні пристрої: підручник. Київ : Вища школа, 2004. 344 с.

9. Верьовкін Л.Л. Світанько М.В., Кісельов Є.М. Хрипко С.Л. Цифрова схемотехніка : підручник. Запоріжжя, 2016. 214 с.

10. Колонтаєвський .П., Сосков А.Г. Електроніка і мікросхемотехніка: підручник. Київ : Каравела, 2009. 287 с.

11. Белуха М.Т. Основи наукових досліджень. Київ : Вища шк., 1997. 271с.

12. Gay, Wilson, Yerkes Performance advantages of two-axis tracking for large flat-plate photovoltaic energy systems. Conf. Rec. IEEE Photovoltaic Spec. Conf 16, 1982. P. 69-73.

13. Кожемякін Г.Б., Рижков В.Г., Бєлоконь К.В. Охорона праці та техногенна безпека: методичні вказівки до виконання розділу магістерських робіт для студентів ЗДІА всіх спеціальностей денної та заочної форм навчання. Запоріжжя : ЗДІА, 2012. 48 с.

14. Ткачук К.Н. Охорона праці і довкілля в радіоелектронній промисловості. Київ : Вища шк., 1988. 240 с.

15. Горобець А.І. Степаненко А.І. Охорона праці в радіоелектронній промисловості. Київ : Техніка, 1987. 345 с.