**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 автономної азимутальної системи орієнтації фотоелектричних перетворювачів під оптимальним кутом до Сонця*

Виконав: студент (ка) *IV* курсу, групи *6.1531*

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

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

*В. Є. Ковальчук*
(ініціали та прізвище)

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

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

м. Запоріжжя
2025

**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.*
"*10*" *червня* 20*25* року

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

*Ковальчуку Владислауву Євгеновичу*
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи *Розробка автономної азимутальної системи орієнтації фотоелектричних перетворювачів під оптимальним кутом до Сонця*

керівник роботи *Верьовкін Леонід .Леонідовия, доцент, к.т.н.*
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)
затверджені наказом ЗНУ від *"27" грудня 2024 року №2029-с*
2. Строк подання студентом роботи *10 червня 2025 року*
3. Вихідні дані до роботи *Обрати систему контролю за станом параметрів кута повороту сонячного трекера*
4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити): *Дослідження систем управління виробництвом сонячної електричної енергії. Розробка системи управління ефективністю фотоелектричного перетворювача. Охорона праці та техногенна безпека.*
5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень) *Логічна схема функціонування трекера. Печатна плата. Компоненти сонячної енергетичної установки.*

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 _____*10.02.2025 року*_____

## КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

| № з/п | Назва етапів кваліфікаційної роботи бакалавра | Строк виконання етапів роботи | Примітка |
|---|---|---|---|
| *1* | *Дослідження систем стеження за сонцем* | *28.02.2025* | |
| *2* | *Дослідження схем управління пристроєм стеження за сонцем за допомогою двох фотоприймачів* | *21.03.2025* | |
| *3* | *Розробка конструкції світлочутливої матриці* | *04.04.2025* | |
| *4* | *Логічне моделювання схеми функціонування приладу* | *25.04.2025* | |
| *5* | *Розробка печатної плати пристрою стеження за сонцем* | *08.05.2025* | |
| *6* | *Розробка блоку живлення схеми трекера* | *16.05.2025* | |
| *7* | *Розробка індикаторного пристрою* | *20.05.2025* | |
| *8* | *Охорона праці та техногенна безпека* | *23.05.2025* | |
| *9* | *Оформлення пояснювальної записки* | *10.06.2025* | |
| *10* | *Рецензування, нормоконтроль, підписання роботи* | *13.06.2025* | |
| *11* | *Оприлюднений захист магістерської роботи* | *18.06.2025* | |

Студент _____ _____*Ковальчук В. Є.*_____
( 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 67 сторінок, 35 рисунків, 4 таблиці, 14 джерел літератури.

Об’єкт дослідження – автоматизована система управління стеження за Сонцем.

Мета роботи – підвищення рівня енергетичної ефективності технологічного процесу виробництва електричної енергії шляхом автоматизованої системи управління, яка забезпечує за рахунок стеження за Сонцем максимальну енергетичну ефективність сонячних батарей при мінімізації енергоспоживання і управління при врахуванні впливів.

Задачі роботи – розробити схему електричну принципову, конструкцію світлочутливої матриці, топологію печатної плати та проаналізувати функціонування автоматизованої системи управління стеженням за Сонцем.

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

Короткий виклад результатів досліджень – розроблена електронна схема автоматизованої системи управління стеженням за Сонцем, яка дозволяє отримати максимальне засвітлення панелей і підвисити ККД перетворення сонячної енергії.

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

Прогнозні пропозиції – рекомендується для впровадження в геліоустановках.

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

Дипломну роботу виконано на кафедрі електроніки, інформаційних систем та програмного забезпечення, з 10.02.2025 по 10.06.2025.

Зміст

Стор.

Вступ …….. 6

1 Дослідження систем управління виробництвом сонячної електричної енергії ……..…….. 8

1.1 Сонячне випромінювання і його особливості ……. 11

1.2 Призначення і область застосування слідкуючих електроприводів .. 13

1.3 Дослідження систем стеження за сонцем ……. 14

1.3.1 Управління пристроєм стеження за сонцем за допомогою двох фотоприймачів …….. 17

1.3.2 Управління згідно азимутальних і зенітних кутів …… …….. 20

1.3.3 Система стеження за сонцем моделі HS-1500 …….. 22

2 Розробка системи управління ефективністю фотоелектричного перетворювача ..…… 25

2.1 Розробка конструкції світлочутливої матриці…….. 25

2.2 Логічне моделювання схеми функціонування приладу …….. 30

2.3 Особливості перетворення сигналу …….. 35

2.4 Аналіз функціонування схеми в програмному забезпеченні Electronics Workbench …… 37

2.5 Розробка печатної плати пристрою стеження за сонцем …… 40

2.6 Розробка блоку живлення схеми трекера ……. 42

2.6.1 Основні характеристики і принципи роботи сонячних батарей …. 42

2.6.2 Конструкції і матеріали сонячних елементів ……. 45

2.6.3 Сонячна енергетична установка для живлення трекера …….. 48

2.6.4 Розробка регулятора заряду …… 50

2.6.5 Принцип функціонування регулятора заряду ……... 52

2.6.6 Індикаторний пристрій …… 53

3. Охорона праці та техногенна безпека при розробці сонячного треке-

ра підвищеної чутливості …… 54
3.1 Характеристика потенційних небезпечних та шкідливих виробничих факторів ……. 54
3.2 Заходи з поліпшення умов праці …… 56
3.2.1 Техніка безпеки при експлуатації електричних установок в лабораторії ……. 57
3.2.2 Електроустаткування …….. 58
3.2.3 Створення оптимальних умов праці в лабораторії травлення печатних плат …… 58
3.2.4 Природне та штучне освітлення ……. 62
3.3 Протипожежна та техногенна безпека …….. 62
Висновки та рекомендації …… 65
Перелік джерел …….. 66

# Вступ

В даний час у зв'язку з багатьма факторами, такими як виснаження енергоресурсів, збільшення їх вартості і загальний негативний вплив традиційної енергетики на навколишнє середовище, все гостріше постає питання про знаходження нових, чистих і поновлюваних джерел енергії. В галузі поновлюваних джерел енергії одним з найбільш перспективних напрямків є сонячна енергетика, так як сонячна енергія загально поширена і невичерпна.

Найпривабливішим є задоволення зростаючих енергетичних потреб людства за рахунок поновлюваних джерел енергії, в першу чергу за рахунок цілеспрямованого використання і перетворення енергії Сонця.

Одним з напрямів геліоенергетики є пряме перетворення сонячної енергії в електричну за допомогою сонячних батарей. Проте висока вартість сонячних елементів до недавнього часу закривала їм дорогу в області, де без них можна обійтися. Але часи міняються, і економічно передові держави в своїх національних програмах вже стимулюють масове вживання сонячних батарей.

В сучасних реаліях, питання збільшення продуктивності роботи сонячних електростанцій, важливе вирішення питання орієнтації панелей під оптимальним кутом до Сонця. Для цього, на панелях встановлюють системи стеження (трекер). Максимальна продуктивність сонячних електростанцій, можлива при збереженні кута між робочою поверхнею панелі і сонячних променів 90º. Для цього і застосовують трекери. Вони мають таку класифікацію: одноосьові, двоосьові.

Одноосьові можуть протягом дня, реагуючи на рух Сонця, змінювати положення панелі у вертикальній площині, такий трекер має високу ефективність у весняний та літній періоди, в цей час сонце розташовується високо на горизонті.

Двоосьові трекери здійснюють поворот панелей в горизонтальній та вертикальній площині, таким чином забезпечують кращу ефективність протягом усього року [1].

Заміна традиційних джерел енергії відновлюваними джерелами є актуальною для всього світу, зокрема і для України. Одними з найбільш використовуваних таких джерел є сонячна енергія, яка перетворюється на електричну за допомогою систем фотоелектричних перетворювачів. Порівняно невисокий коефіцієнт корисної дії і вартість таких систем уповільнюють їхнє поширення. Створення системи управління ефективністю фотоелектричного перетворювача приводить до їх ширшого використання.

# 1 Дослідження систем управління виробництвом сонячної електричної енергії

Система управління виробництва електричної енергії включає в себе стеження за Сонцем і систему автоматичного управління (САУ) зарядом акумуляторних батарей, що має функцію пошуку максимуму вироблення енергії сонячної батареї (СБ) з урахуванням залежності зарядженості акумуляторної батареї (рис.1.1).

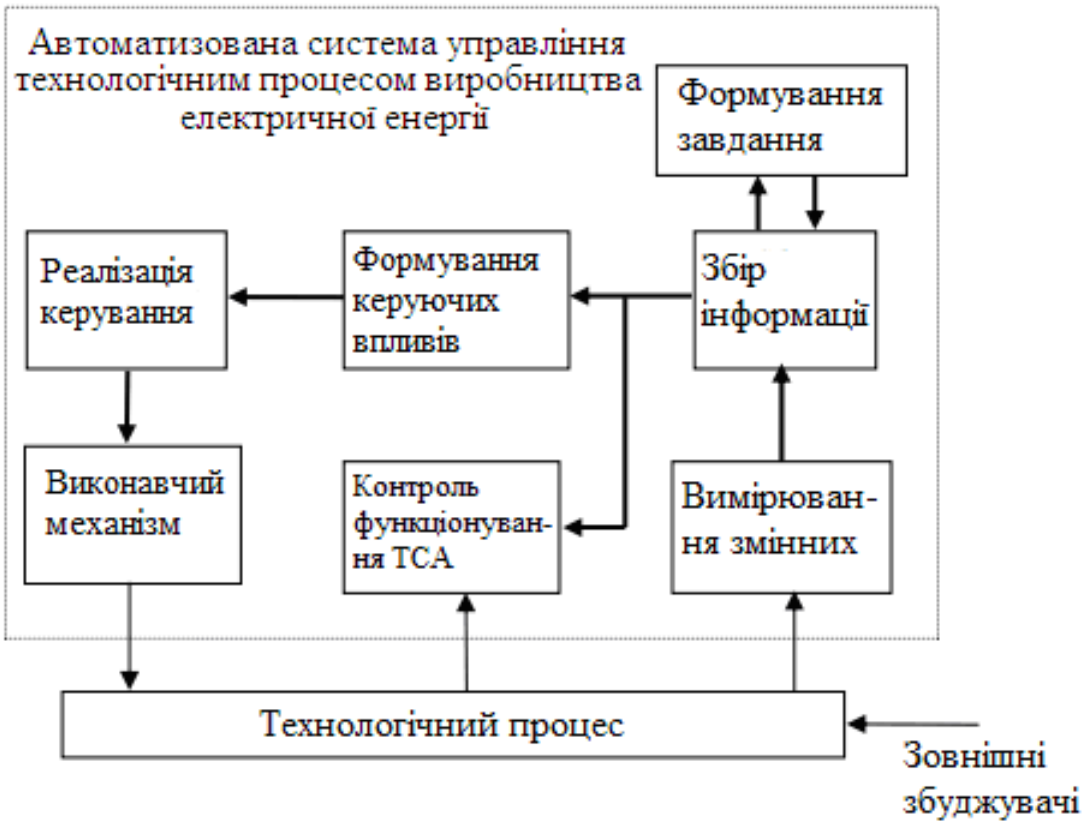



Рисунок 1.1 - Функціональна схема системи управління в загальному вигляді

Систему управління стеження за Сонцем можна представити в загальному вигляді, як показано на рисунку 1.2. Прийняті наступні позначення: ПЗО − пристрій зв'язку з об'єктом; ВП − вимірювальний перетворювач; ОУ − об'єкт управління; РО − регулюючий орган; ВМ − виконавчий механізм; РЕГ − регулятор; ЗП − задаючий пристрій.

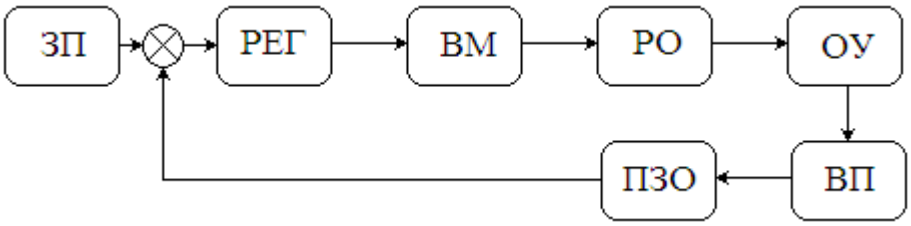



Рисунок 1.2 - Функціональна схема системи управління

Об'єкт управління являє собою двохкоординатний виконавчий механізм переміщення платформи з сонячною батареєю (СБ), задаючий пристрій (ЗП) містить пристрій завдання режиму роботи, пристрій введення і виведення інформації на зовнішній комп'ютер, регулятор (РЕГ) реалізований на базі мікроконтролера і керує процесами стеження і діагностики системи автономної фотоелектричної енергоустановки, виконавчий механізм (ВМ) і регулюючий пристрій (РП) містять контролери і драйвери управління електромеханічними виконавчими механізмами, вимірювальний перетворювач (ВП) містить датчик положення об'єкта (датчик положення Сонця), датчики струму і температури двигуна, кінцеві вимикачі [1].

В цілому система управління стеження автономної фотоелектричної енергоустановка може бути повністю автоматична, але в аварійних умовах або в режимі пуско-налагодження, управління може бути передано оператору [2].

В автоматизованій системі управління безперервне стеження за Сонцем може здійснюватися різними способами:

- програмне управління (стеження) від мікроконтролера по заздалегідь заданим координатам (по азимуту і куту місця);

- в режимі постійного пошуку максимуму енергії, яка виробляється СБ;

- з використанням датчиків і електроприводів стеження за положенням Сонця, у безперервному або дискретному режимах.

В ряді автономних фотоелектричних енергоустановок двигун постійного струму замінюють на синхронний двигун з постійними магнітами [3]. При

цьому істотно ускладнюється схема управління електроприводом, але істотно підвищується надійність і ресурс системи електроприводу.

Для забезпечення високої точності характеристик в системі стеження СБ за Сонцем необхідно вирішувати завдання поліпшення характеристик самого електроприводу, підтримки заданого положення платформи з СБ при зміні умов навколишнього середовища (температури, тиску і вітрового навантаження), мінімізації енергоспоживання електроприводами при спостереженні і забезпечення високої надійності системи управління автономної фотоелектричної енергоустановки.

Недоліки даної системи:

- відсутність оптимізації системи стеження при зменшенні освітленості СБ;

- відсутня мінімізація енергоспоживання двигунами під час стеження;

- не використовується нелінійний режим позиціювання, який враховує особливості реактивно-вентильного двигуна.

Стеження автономної фотоелектричної енергоустановки здійснюється за допомогою електроприводів  постійного струму по заздалегідь заданому положенню. Причому переміщення відбувається навіть тоді, коли щільність хмар висока і точність стеження автономної фотоелектричної енергоустановки за Сонцем не дає позитивних результатів у виробництві енергії. В цьому випадку відбувається додаткова витрата електричної енергії в електроприводах на переміщення автономної фотоелектричної енергоустановки [4].

Особливістю є використання фоторезисторів в якості чутливого елемента. Датчик складається з чотирьох фоторезисторів, які закріплені в пірамідоподібному блоці. Коли Сонце висвітлює центр системи, фоторезистори отримують однакову кількість світла і мають однаковий опір. Коли Сонце зміщується, перегородка, розташована між фоторезисторами, створює тінь, що викликає зміну інтенсивності світла, яке вимірюється за допомогою датчиків (рис 1.3). Система стеження має 10-розрядний АЦП.

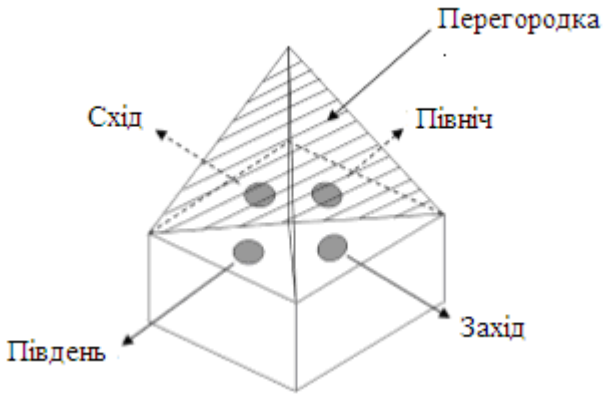



Рисунок 1.3 - Датчик положення Сонця

## 1.1 Сонячне випромінювання і його особливості

Джерело сонячного випромінювання – Сонце, яке має зразковий радіус в 695300 км. і маси близько $2\times10^{30}$ кг Температура поверхні Сонця – близько 60000 °С, усередині Сонця – близько 400000000 °С. Протягом року Сонце випромінює в космічний простір близько $1,3\times10^{24}$ кал. Земля рухається довкола Сонця по еліптичній орбіті з ексцентриситетом. При цьому її вісь обертання постійно нахилена до площини її обертання довкола Сонця на 66°33’ або 66°55’. Відстань від Землі до Сонця міняється в межах від 147 до 152 млн.км (в середньому – 149,6 млн.км). При цьому коли Земля знаходиться на ділянці еліпса, розташованій ближче до Сонця, то вона рухається швидшим (близько 30,3 км/с). У протилежному випадку – повільніше (близько 29,3 км/с). Через це тривалість дійсної сонячної доби на Землі постійно міняється. Щонайдовші дні - 23 грудня, коли вони, наприклад на 51 секунду довше, ніж 16 вересня, коли вони найкоротші. При цьому прийнято називати дійсними сонячними цілодобово проміжок часу між двома верхніми положеннями центру сонячного диска в суміжну земну добу. Це означає, що якби на Землі враховували вказані особливості руху Землі відносно Сонця, то довелося б щодня міняти налаштування годинника, який повинен йти то повільніше, то швидше. Тому на Землі сьогодні поняття так званої середньої сонячної доби,

тривалість їх завжди однакова і дорівнює 24 годинам. Час, вимірюваний по так званому середньому Сонцю, називається середнім сонячним часом, а – по дійсному Сонцю – дійсним сонячним часом. Різниця між ними називається рівнянням часу. Значення останнього на кожен день дається в астрономічних календарях і щорічниках. Наближений графік зміни рівняння часу представлений на рисунку 1.4. Представлена на нім крива показує середній час в дійсний полудень (максимум висоти центру Сонця над горизонтом) [5].

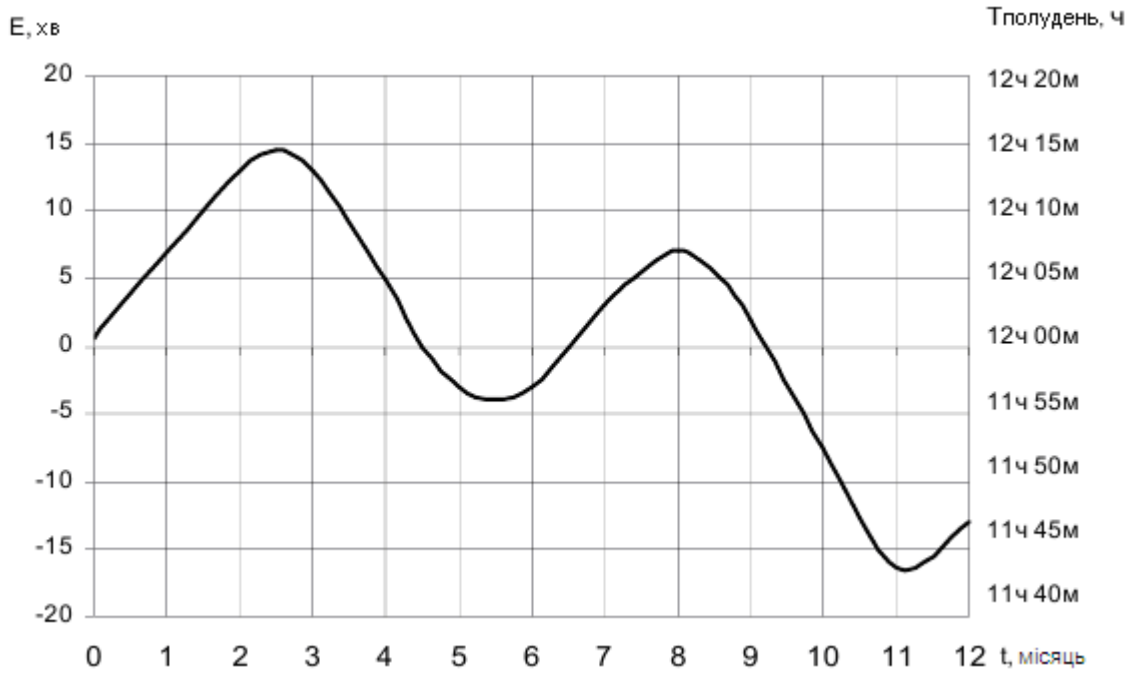



Рисунок 1.4 - Графік рівняння часу

Дійсний і середній час рівні між собою 15.04, 14.06, 1.06, 24.12 кожного року. Максимум рівняння часу має місце 11.02 (+14'22"), мінімум – 2.11 (-16'24"). Кутовий розмір Землі по відношенню до Сонця - 32'. Радіус Землі складає близько 6378 км. Маса Сонця приблизно в 333000 разів перевищує масу Землі, а його об'єм в $1{,}3\times10^{6}$ раз перевищує об'єм Землі. Сонце випромінює в кожен момент часу в космосі близько $4\times10^{23}$ кВт, з яких на Землю приходить всього біля $0{,}25\times10^{-9}$ всього об'єму випромінювання Сонця. Тривалість життя Сонця – декілька мільярдів років, що дозволяє сьогодні вважати його вічним найпотужнішим джерелом енергії на Землі. На всю поверхню Землі доводиться біля $(0{,}85\text{-}1{,}2)\times10^{14}$ кВт або $(7{,}5\text{-}10)\times10^{17}$

кВт·ч/год при середньому питомому вступі сонячного вилучення 200–250 Вт/м$^2$ або 1752-2190 кВт·ч/м$^2$·год. При цьому діапазон питомого приходу сонячного вилучення на Землю міняється вельми значно, як в часі, так і по її території: (170-1000) Вт/м$^2$ або (17–100)×10$^4$ кВт·ч/км$^2$. Прихід всіх інших видів енергії складає всього 19 кВт/км$^2$, що говорить про величезні можливості сонячного вилучення на Землю [1].

## 1.2 Призначення і область застосування слідкуючих електроприводів

Після початку використання сонячних батарей для виробництва електроенергії в промислових масштабах інженери і проектувальники стали шукати способи підвищення ефективності таких електростанцій. Загальна дисперсія світла Сонця, яка визначається зміною напрямку падіння сонячних променів на панелі, не дозволяла раціонально використовувати сонячні батареї протягом усього світлового дня. Виходом з такої ситуації стало встановлення сонячних панелей на рухомому підставі, підключеному до системи стеження за траєкторією переміщення Сонця.

Для отримання максимальної потужності від сонячних батарей необхідно, щоб сонячні промені потрапляли на площину батарей перпендикулярно. При такому напрямку променів ККД сонячних батарей може досягати 50…55%. Для стаціонарно встановлених батарей цей показник може знижуватися до 10…15% з-за зміни кута падіння сонячних променів.

Освітленість сонячних батарей повинна підтримуватися на оптимальному рівні. Для підтримання цього рівня розроблені різноманітні системи спостереження - від найпростіших аналогових до аналогово-цифрових.

Система стеження за сонцем - це пристрій для орієнтування панелі сонячних батарей або для утримання сонячного відбивача поверненим до Сонця [1].

Слідкуючі електроприводи або системи управління положенням представляють собою замкнуті електроприводи, керуючі переміщенням і забезпечуючи стабілізацію положення об'єкта регулювання відносно деякої базової системи координат.

При цьому регульована величина (положення об'єкту) з тим або іншим ступенем точності повинна відповідати прикладеному до системи керуючому впливу. Слідкуючі електроприводи можуть забезпечувати як лінійне, так і кутове переміщення регульованого об'єкта. Наприклад, це може бути система наведення сонячної батареї.

## 1.3 Дослідження систем стеження за сонцем

Для досягнення максимальної продуктивності робочих поверхонь систем необхідна їх точна орієнтація на Сонце. При цьому завданням пристрою стеження (трекера) є зменшення кута падіння сонця на робочу поверхню сонячних панелей. Положення рухомої частини трекера може змінюватися за допомогою ручного приводу або за допомогою так званих актуаторів - пристроїв, виконаних на електродвигунах.

Таким чином, трекер встановлює кути нахилу робочої поверхні приладів, зорієнтувавши її строго на Сонце. Інакше кажучи, сонячні промені повинні падати перпендикулярно площині сонячної батареї.

У екваторіальних стежачих системамах кут нахилу осі до землі підтримується постійним. У зв'язку з цим при зміні пір року відбуватиметься постійне зниження ефективності фотоелектричного перетворення. Для здобуття максимальної ефективності необхідно вводити додаткове регулювання кута нахилу. Зручність введення регулювання залежить від конкретної установки. Змінювати величину полярного кута недоцільно, інакше пропадає сам сенс подібного стежачого пристрою. Тому необхідно підстроювати кут, під яким сонячна панель кріпиться до осі [5].

Трекери можуть бути реалізовані на основі різних принципів.

Одноосьові трекери мають одну ступінь свободи, яка є віссю обертання. Такі трекери діляться горизонтальні, вертикальні і похилі.

Трекери з горизонтальною віссю. Вісь обертання горизонтально орієнтована по відношенню до землі. Такі пристрої забезпечують високу ефективність протягом весни і літа, коли сонце високо в небі. Жорсткий каркас і простий механізм є основою високої надійності.

Трекери з вертикальною віссю. Вісь обертання вертикально орієнтована по відношенню до землі. Ці трекери обертаються зі сходу на захід протягом дня. Вертикальні одновісні системи обертаються тільки навколо вертикальної осі, панелі на них закріплюються вертикально під фіксованим, регульованим кутом нахилу.

Трекери з двома вісями обертання мають дві ступені свободи, які виступають в якості вісей обертання. Як правило, ці вісі не пов'язані одна з одною, але працюють разом. Одна вісь фіксується за відношенням до землі. Вона є основною. Інша вісь може розглядатися як вторинна, і навпаки.

ККД сонячній панелі максимально при попаданні на неї прямих сонячних променів. Але оскільки сонце постійно рухається по горизонту, то ККД сонячних батарей сильно падає, коли сонячні промені падають на панель під кутом. Аби підвищити ККД сонячних панелей, застосовуються системи що стежать за сонцем і автоматично повертають сонячну панель для попадання прямих променів.

Термін геліостат часто використовується для позначення конструкцій з сонячними батареями, проте це частково невірно. Насправді геліостат — це змонтований на верхньої поверхні опори відбивач (дзеркало) з приводом від мотора, який стежить за сонцем і відображає його світло постійно в одне і те ж місце. Геліостат із-за складності процесу руху, як правило, розміщується на вертикальній опорі і наводиться в рух азимутальною стежачою системою. Азимутна стежача система відрізняється від екваторіальної по ряду істотних ознак. По-перше, опори майже всіх азимутних систем встановлюються вер-

тикально (рис. 1.5). Вертикальна опора має безліч переваг перед похилою, використовуваною для полярних стежачих систем. Перш за все в опорі відсутня яка-небудь напруга вигину. Коли ж опора нахилена, в місці зіткнення її із землею з'являється напруга. Величина напруги прямо пропорційна вазі устаткування, розміщеного на опорі, і це завжди викликає певні труднощі. З іншого боку, пряма колона передає зусилля вертикально вниз. Отже, якщо колона не знаходиться під бічною напругою, вона має полегшену конструкцію. Звичайно, зустрічаються похилі опори азимутних стежачих систем (розташовані під кутом, рівним широті місця розташування установки). Але в цьому випадку їх можна віднести до типу екваторіальних стежачих систем, якщо навіть управління ними здійснюється в двох різних площинах.

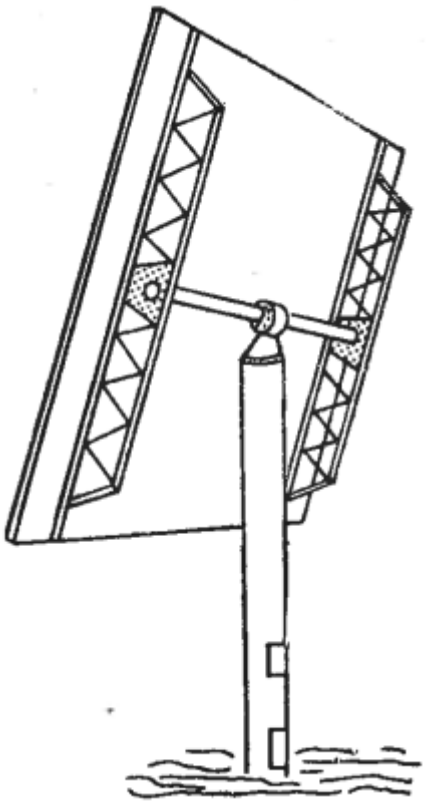


Рисунок 1.5 - Азимутна стежача система

Такого типа стежачі системи в основному використовують астрономи. І хоча телескоп обертається довкола двох осей, постійно використовується лише полярний привід. Кут місця телескопа часто встановлюється лише один

раз. Азимутні стежачі системи відрізняються від екваторіальних головним чином тим, що вони одночасно відстежують об'єкт в двох різних площинах. Тому для приводу потрібно два мотори. Один мотор переміщає приймач сонячного випромінювання в горизонтальній площині, інший - у вертикальній. Немає жодного фіксованого положення або орієнтації. Без яких-небудь обмежень азимутна стежача система може вказувати в будь-яку точку небозводу у будь-який момент часу. Вочевидь, що для забезпечення подібного діапазону переміщень потрібний складніший пристрій, ніж простий годинниковий механізм. Часто таким складним рухом управляє комп'ютер [5].

### 1.3.1 Управління пристроєм стеження за сонцем за допомогою двох фотоприймачів

Загальна схема трекера на фотоелементах наведена на рисунку 1.6.




Рисунок 1.6 – Трекер на фотоелементах

Такий пристрій має два або більше фотодіодів. При русі сонця освітленість фотодіодів стає різною, пристрій аналізує освітленість і передає керую-

чі сигнали на актуатори до моменту, коли потік світла на всіх фотоелементах буде однаковий. При цьому, електродвигун повертає сонячну батарею із заходу на схід.

Протягом дня платформа з сонячною батареєю буде повертатися слідом за рухом сонця. З настанням сутінків система перейде в режим очікування. Принципові схеми таких пристроїв нескладні та недорогі. Але у них є один істотний недолік: у похмуру погоду і забрудненні фотоприймачів працездатність системи погіршується.

Найпростіша типова схема пристрою стеження за рухом Сонця (SolarTracker) наведена на рисунку 1.7.

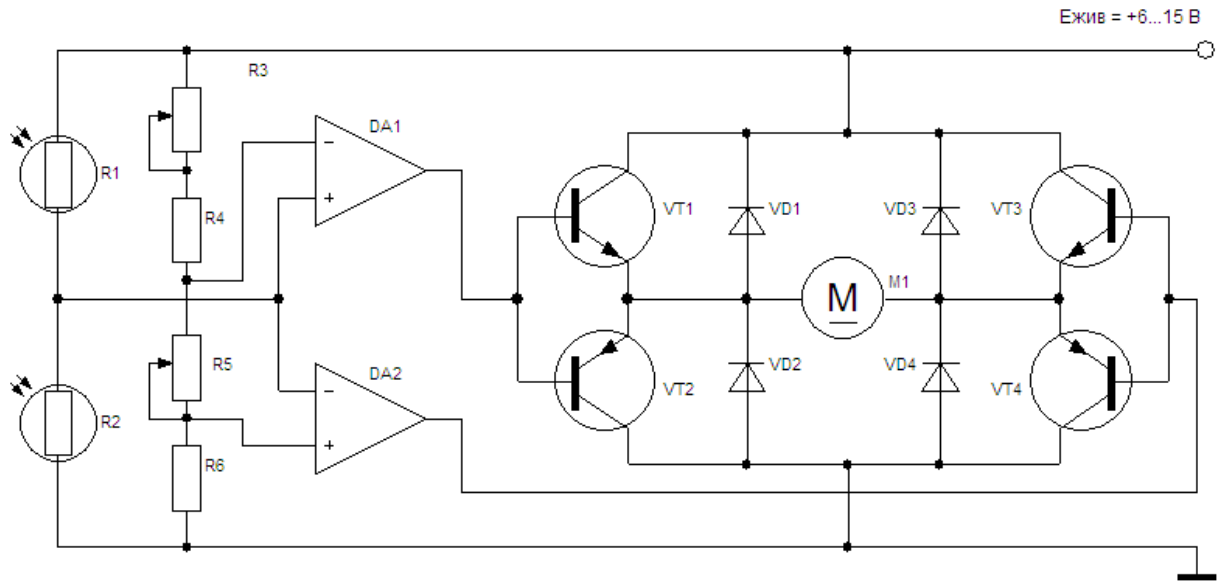



Рисунок 1.7 – Схема пристрою стеження на фоторезисторах

Для визначення позиції сонця у конструкції використовуються два фоторезистора (рис. 1.8). Мотор включений за схемою Н-моста, який дозволяє комутувати струм до 500 мА при напрузі живлення 6…15 В. У темноті пристрій також працездатний і повертатиме мотор на найбільш яскраве джерело світла. Схема містить мікросхему операційного підсилювача LM1458 (К140УД20), транзистори BD139 (КТ815Г, КТ961А) і BD140 (КТ814Г,КТ626В), фоторезистори, діоди 1N4004 (КД243Г), резистори і підстроєчні резистори.

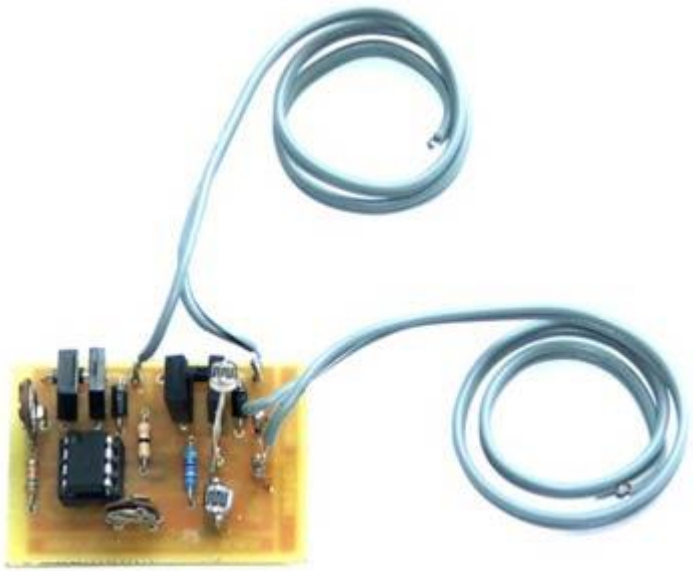


Рисунок 1.8 – Конструкція пристрою стеження за сонцем

Мотор М наводиться в рух при різних значеннях на виходах операційних підсилювачів (ОП) DA1, DA2 (табл 1.1).

Таблиця 1.1 – Алгоритм функціонування мотору пристрою

| Вихід DA1 | Вихід DA2 | Стан мотору |
|---|---|---|
| 0 | 0 | остановлено |
| 0 | 1 | вперед |
| 1 | 1 | остановлено |
| 1 | 0 | назад |

Транзистори в схемі працюють в парі, по діагоналі, комутуючи $+E_{жив}$ або $-E_{жив}$ до мотора, і заставляючи його обертатися вперед або назад.

Під час зупинки мотора, він продовжує обертатися, оскільки присутній момент, що обертається. Внаслідок цього, мотор деякий час генерує потужність, яка може вивести транзистори з буд. Для захисту транзисторів від проти-ЕРС в схемі моста використовується 4 діоди. Печатна плата пристрою представлена на рисунку 1.9.

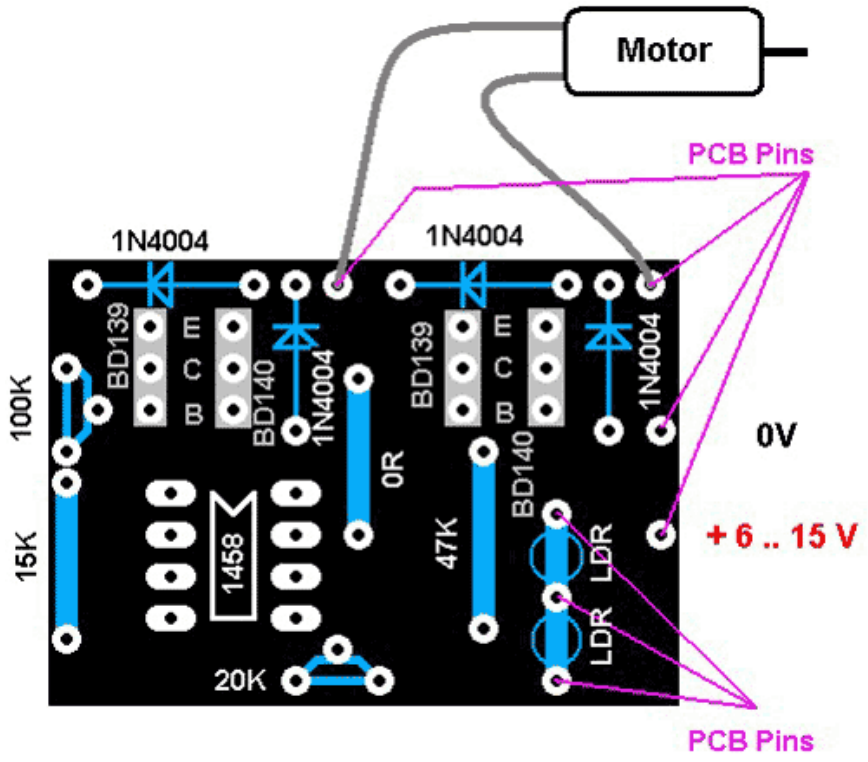



Рисунок 1.9 - Печатна плата пристрою

Вхідний каскад складається з двох і фоторезисторів. Якщо кількість світла, що потрапляє на них однаково, то опори фоторезисторів також рівні. Якщо напруга живлення 12 В, то в місці з'єднання фоторезисторів буде напруга в 6 В. Якщо кількість світла що потрапляє на один фоторезистор буде більше, ніж на іншому фоторезисторі, то напруга змінюватиметься.

### 1.3.2 Управління згідно азимутальних і зенітних кутів

Для правильного позиціювання сонячних панелей, потрібно компенсувати два переміщення Землі:

- добове переміщення, пов'язане з обертання Землі навколо своєї вісі;
- річне переміщення, пов'язане з обертання Землі навколо Сонця.

До складу такого пристрою входить таймер. Актуатори починають свою роботу з добовою програмою таймера (при бажанні, і за річною програмою). Але точність орієнтації за допомогою таких пристроїв невелика, так

як Сонце протягом року постійно змінює час, місце сходу і заходу, зенітний кут.

Спосіб управління за програмою розрахунку місця розташування Сонця можна вважати найбільш ефективним. За внутрішнім годинником пристрою програма видає інформацію про значення азимута і зенітного кута (рис. 1.10) на блок управління. При цьому обов'язково буде враховуватися місце розташування трекера, тобто такі параметри як широта, довгота і висота над рівнем моря. Після цього розраховується нове (необхідне) положення трекера і проводиться його переорієнтація [6].

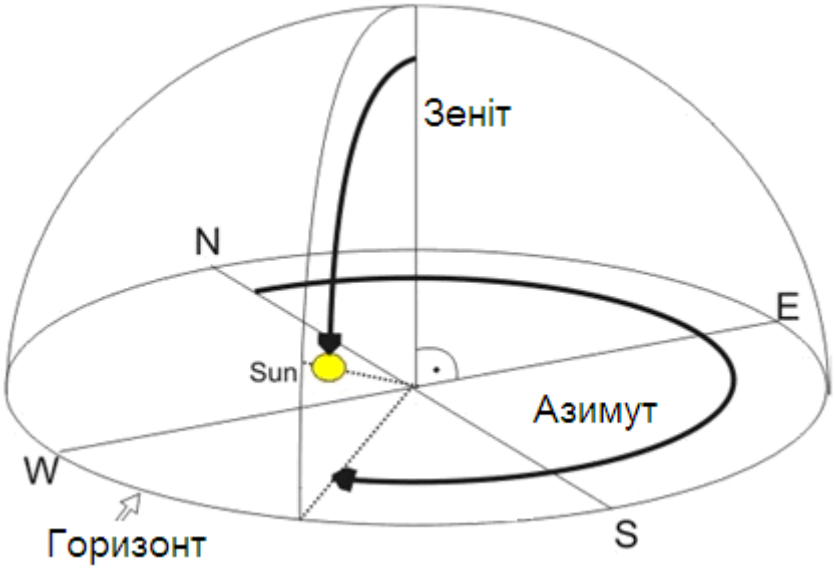



Рисунок 1.10 – Схема визначення положення Сонця за азимутом і зенітним кутом

Механізм нахилу дозволяє використовувати такі системи стеження в будь-яких географічних широтах: при встановленні сонячних батарей в місцевості, яка відповідає 320 градусам північної широти, вісь пристрою повинна бути повернена на 320 градусів по відношенню до горизонту.

Приводи всіх механізмів системи стеження будуються на базі електродвигунів, на які і впливає система управління. Живлення електродвигунів і

системи управління здійснюється від самих сонячних батарей, тому такі установки автономні.

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.

### 1.3.3 Система стеження за сонцем моделі HS-1500

Однокоординатна система стеження за сонцем моделі HS-1500 (рис. 1.11) має додаткову вихідну потужність, яка досягає 40 % в порівнянні з фіксованою установкою. Загальна площа під модулі 15 м$^2$, до 2.5 кВт, споживана потужність до 1,25 кВтч/год).



Рисунок 1.11 - Система стеження за сонцем моделі HS-1500

Схемне рішення (рис.1.9) включає три датчики. Позиція датчиків - дозволяє цій системі відстежувати сонце.

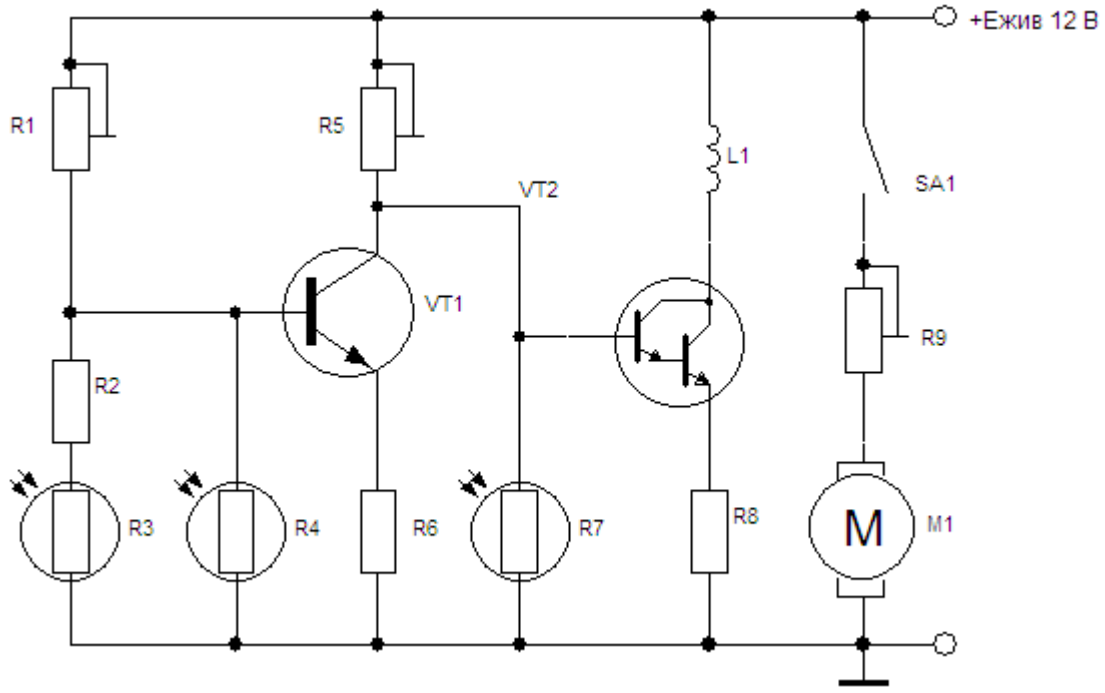



Рисунок 1.9 - Принципова схема трекера моделі HS-1500

Датчик 3 розташований на лицьовій стороні панелі і безпосередньо освітлений сонцем (рис.1.10) [2]. Коли сонце перестає його освітлювати, збільшується напруга на базі транзистора Дарлінгтона і вмикається електродвигун.

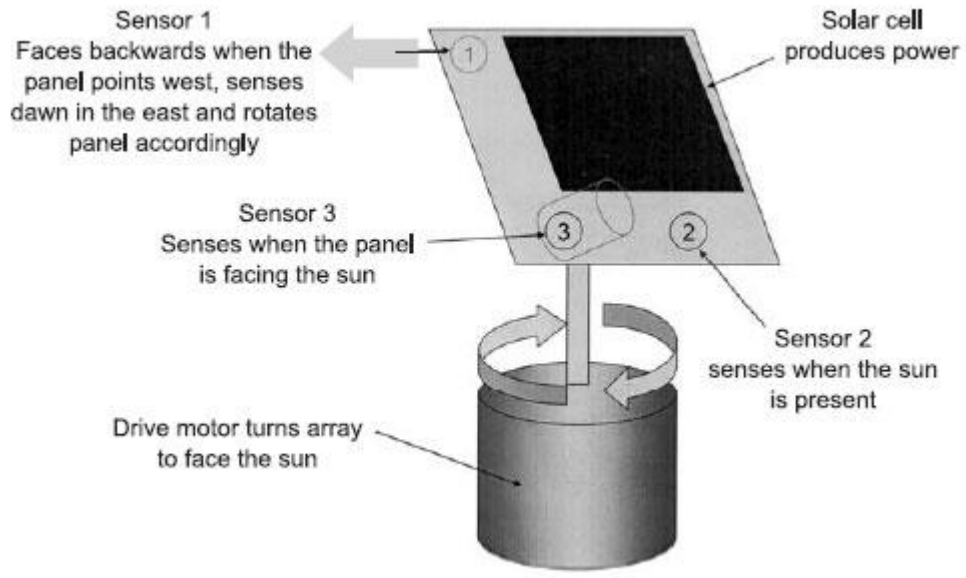



Рисунок 1.10 – Позиціювання трекера моделі HS-1500

При освітленні датчика 3 зменшується напруга на базі транзистора Дарлінгтона і електродвигун вимикається. Датчик 2 управляє n-p-n транзистором і фіксує момент заходу сонця, блокуючи обертання двигуна. Зі сходом сонця на сході спрацьовує датчик 1. Схема обертання двигуна розблоковується і трекер розвертається до сонця.

Метою дипломної роботи є підвищення рівня енергетичної ефективності технологічного процесу виробництва електричної енергії шляхом автоматизованої системи управління, яка забезпечує за рахунок стеження за Сонцем максимальну енергетичну ефективність сонячних батарей при мінімізації енергоспоживання і управління при врахуванні впливів.

Для досягнення поставленої мети слід вирішити наступні завдання:

- розробити схему автоматизованої системи управління;
- розробити конструкцію світлочутливої матриці, що стежить за Сонцем;
- розробити печатну плату для розташування елементів схеми автоматизованої системи управління;
- використовувати як джерело живлення сонячні батареї і накопичувальні акумулятори.

# 2 Розробка системи управління ефективністю фотоелектричного перетворювача

## 2.1 Розробка конструкції світлочутливої матриці

В даний час для систем управління стеження за Сонцем розроблено велику кількість різноманітних датчиків, заснованих на різних принципах визначення положення Сонця, в тому числі щілинні сонячні датчики, датчики на ефекті Саньяка, геліотрекери різних конструктивних виконань, а також інші оригінальні пристрої та конструкції.

У якості чутливих щільових сонячних елементів датчиків використовуються кремнієві фотодіоди [7]. Принцип функціонування цих датчиків оснований на порівнянні сигналів, що надходять з кожного фотодіода, які розташовані кожен у своїй щілині, і виявлення максимального сигналу. Датчик розташований таким чином, що при переміщенні Сонця по екліптиці один з фотодіодів освітлений, а інші в цей час знаходяться в тіні, створеною перегородками. Таким чином, сигнал з найбільш освітленого фотодіода буде максимальний, що являється системою управління і подається команда повороту СБ на кут, відповідний положенню цього фотодіода, тобто датчики формують релейні сигнали наявності Сонця в заданих полях огляду. Основними недоліками щілинних датчиків є висока вартість і складність конструкції, необхідність використання складної системи контролю і управління.

Принцип дії оптичного гіроскопа оснований на ефекті Саньяка. По круговому оптичному шляху, завдяки розщепленню променя, світло поширюється у двох протилежних напрямках. Якщо при цьому площина СБ перпендикулярна до променів Сонця, то обидва світлових променя поширюються зустрічно по оптичному шляху однакової довжини. Тому при додаванні променів в розщеплювачі по завершенні шляху немає фазового зсуву. Однак, ко-

ли Сонце переміщається з кутовою швидкістю, між світловими хвилями виникає різниця фаз [7].

Геліотрекер дослівно можна перекласти як «відстежувач шляху Сонця». Його завдання - постійне спрямування на Сонце. Один з варіантів [7] показаний на рисунку 2.1.

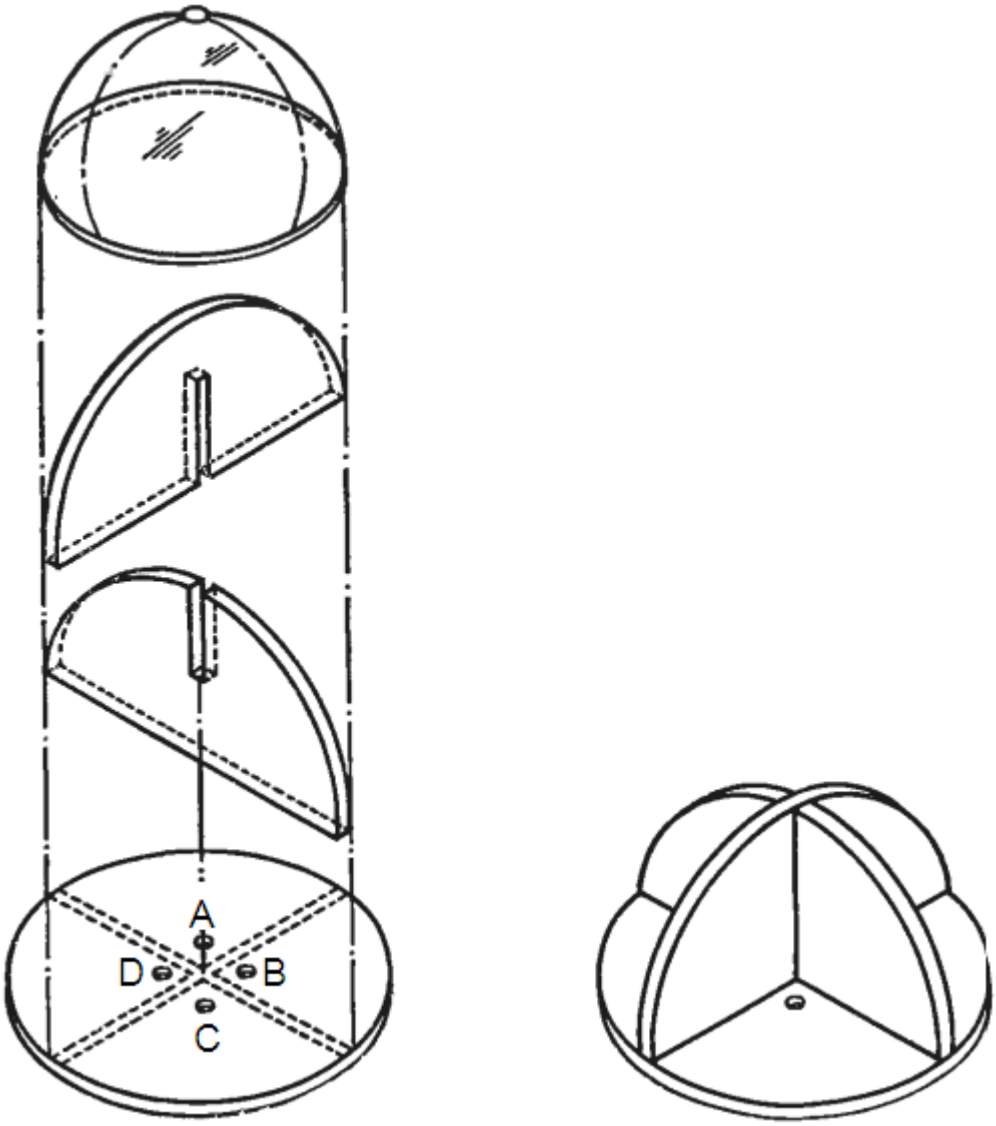



Рисунок 2.1 – Конструкція світлочутливої матриці геліотрекера

Він складається з фотоприймача, контролера і виконавчого механізму у вигляді двох двигунів з редукторами, що повертають СБ і закріплений на ньому фотоприймач. Фотоприймач являє собою невелику плату і закріпленими на ній 4 фотодатчиками. Всі фотодатчики розділені між собою хрестоподібною перегородкою. При орієнтації на Сонце висвітлені всі чотири фо-

тодатчика. Сонце в процесі свого руху по небосхилу змінює освітленість фотоприймача, тому 2 або 3 фотодатчика перебувають в тіні. В алгоритмі роботи датчика всього 9 команд в залежності від положень фотоприймача.

Якщо пристрій розташований, як показано на рисунку 2.1, то всі фототранзистори, окрім одного (найближчого), сховаються із виду. Ця ситуація еквівалентна найбільш звичному робочому положенню пристрою при освітленні. Іншими словами, один датчик уловлює сонячні промені, тоді як інші знаходяться в тіні [7].

Розташуємо чутливу голівку так, щоб її перегородки були орієнтовані в напрямах північ - південь і схід - захід, як показано на рисунку 2.2. Кожна секція з фототранзистором помічена буквами A, B, C, D. Тепер розглянемо різні варіанти взаємного положення чутливої матриці і Сонця.

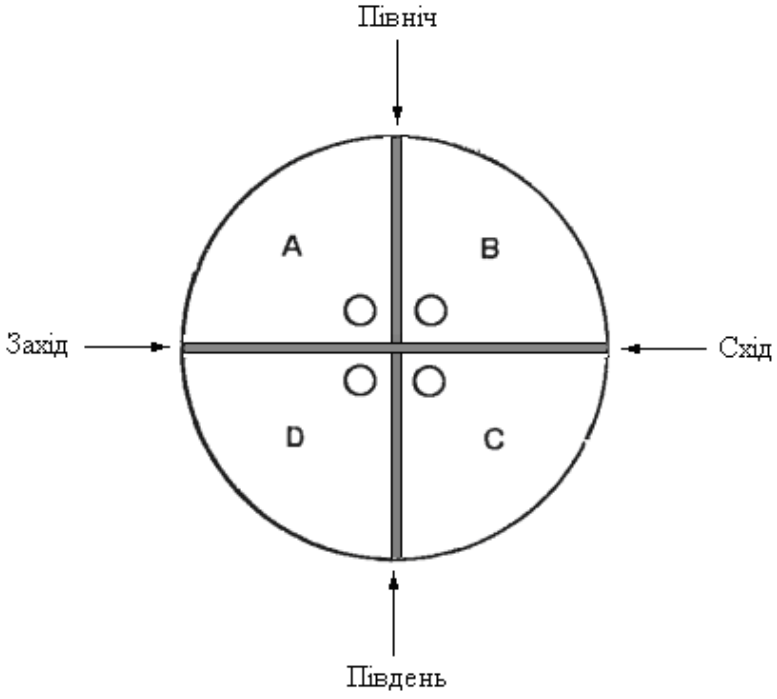



Рисунок 2.2 – Орієнтація секторів світлочутливої матриці відносно сторін світу (вигляд зверху)

Коли сонце знаходиться в напрямі на північ по відношенню до чутливої матриці, воно освітлює секції A и B. Сонячні промені, падаючі на

чутливу голівку зі сходу, будуть детектуватися фототранзисторами B і C. Якщо сонце знаходиться на північному сході, світло потраплятиме лише на фотодатчик B. Усі можливі варіанти освітлення датчиків представлені в таблицях 2.1 і 2.2.

Таблиця 2.1 – Можливі варіанти освітлення датчиків для двохкоординатної системи стеження

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| Датчик A | 1 | 0 | 1 | 1 | 0 |
| Датчик B | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 |
| Датчик C | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 |
| Датчик D | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 |
| Примітка | Сонце вище з заходу | Сонце вище з сходу | Сонце вище | Сонце з заходу | Сонце нижче з сходу |
| Вертикальний рух | Вгору | Вгору | Вгору | Стоїть | Вниз |
| Горизонтальнйний рух | На захід | На схід | Стоїть | На захід | На схід |

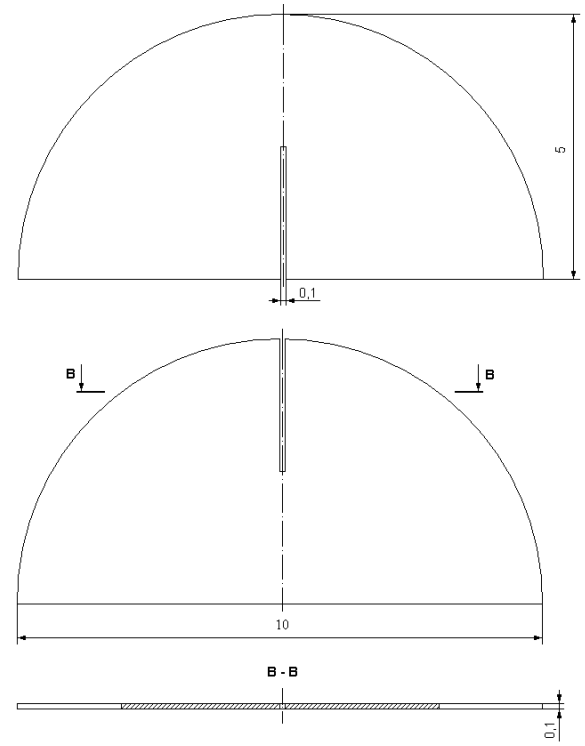
Таблиця 2.2 – Можливі варіанти освітлення датчиків для двохкоординатної системи стеження

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| Датчик A | 0 | 0 | 0 | 1 |
| Датчик B | 1 | 0 | 0 | 1 |
| Датчик C | 1 | 1 | 0 | 1 |
| Датчик D | 0 | 1 | 1 | 1 |
| Примітка | Сонце з сходу | Сонце нижче | Сонце нижче з заходу | Точно на Сонце |
| Вертикальний рух | Стоїть | Вниз | Вниз | Стоїть |
| Горизонтальний рух | На схід | Стоїть | На захід | Стоїть |

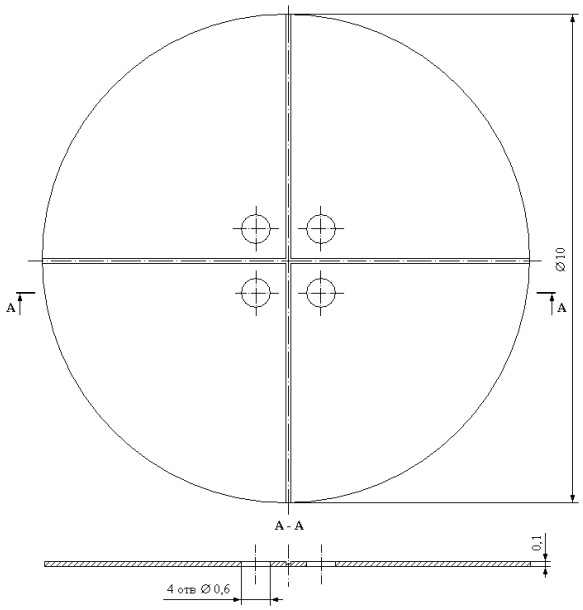
У таблицях 2.1 і 2.2 прийняті наступні позначення: 1 − датчик освітлений; 0 − датчик в тіні перегородки.

Затінюючи секції виготовляються з листа алюмінію товщиною 1 мм. Круг діаметром 10 см розрізається на два півкола однакових розмірів і фор-

ми. Визначається середина прямого краю півкола і встановлюється з цієї точки перпендикуляр до пересічення з дугою. Середина перпендикуляра знаходиться на відстані 2,5 см від краю. Виконуються пропили в обох деталях як показано на рисунку 2.4, а.




а




б

Рисунок 2.4 – Габаритні розміри конструктивних елементів світлочутливої матриці

Деталі з'єднуються разом. Як підстава використаний круглий диск діаметром 10 см, відповідний розміру диска, використаного для виготовлення затінюючих секцій (рис. 2.4 б). У кожному квадранті виконані отвори діаметром 6 мм. В результаті нагріву конструкції матриці сонячними променями з’явиться напруга. У зв'язку з цим не використовуються матеріали з різними коефіцієнтами теплового розширення і покриття фарбою зібраної матриці.

Від дії несприятливих погодних умов матриця закрита прозорим ковпаком. Захисний ковпак приклеєний до підстави рідким склом.

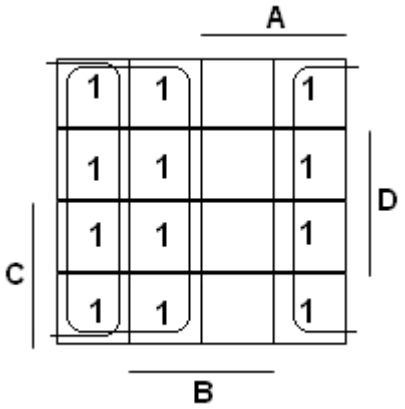
## 2.2 Логічне моделювання схеми функціонування приладу

Інформація, що поступає з цих чотирьох датчиків (рис. 2.3), використовується системою для відстеження руху Сонця по небосхилу. Логіку роботи приладу стеження за положенням Сонця розглянемо за допомогою таблиці істинності (табл. 2.3).

Згідно з таблицею запишемо рівняння функціонування приладу, для логічних виходів F1, F2, F3, F4.

$$F1 = \bar{A}\bar{B}\bar{C}\bar{D} + \bar{A}\bar{B}\bar{C}D + \bar{A}\bar{B}C\bar{D} + \bar{A}\bar{B}CD + \bar{A}B\bar{C}\bar{D} + \bar{A}B\bar{C}D +$$
$$+ \bar{A}BC\bar{D} + \bar{A}BCD + A\bar{B}\bar{C}\bar{D} + A\bar{B}\bar{C}D + A\bar{B}C\bar{D} + A\bar{B}CD$$

Спростимо рівняння за допомогою карти Карно.



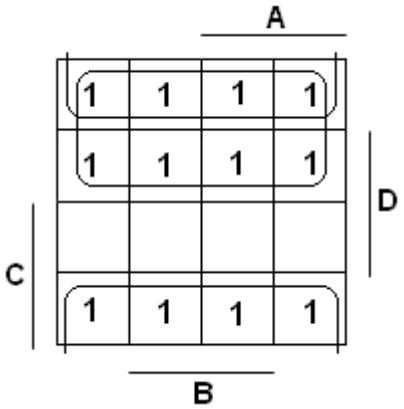
Таблиця 2.3 – Логічна таблиця функціонування трекера

| A | B | C | D | F1 | F2 | F3 | F4 | Стан двигуна М1 | Стан двигуна М2 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | вимкнено | вимкнено |
| 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | вимкнено | вимкнено |
| 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | вимкнено | вимкнено |
| 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 0 | 1 | 0 | обертається на північ | обертається на захід |
| 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | вимкнено | вимкнено |
| 0 | 1 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | вимкнено | вимкнено |
| 0 | 1 | 1 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | вимкнено | вимкнено |
| 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 1 | 0 | обертається на північ | обертається на захід |
| 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | вимкнено | вимкнено |
| 1 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | вимкнено | вимкнено |
| 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | вимкнено | вимкнено |
| 1 | 0 | 1 | 1 | 1 | 0 | 1 | 0 | обертається на північ | обертається на захід |
| 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | обертається на південь | обертається на схід |
| 1 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | обертається на південь | обертається на схід |
| 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | обертається на південь | обертається на схід |
| 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | вимкнено | вимкнено |

$$F1 = \overline{A} + \overline{B} = \overline{AB}$$

$$F2 = \overline{A}\overline{B}\overline{C}\overline{D} + \overline{A}\overline{B}\overline{C}D + \overline{A}\overline{B}C\overline{D} + \overline{A}\overline{B}CD + \overline{A}B\overline{C}\overline{D} + \overline{A}B\overline{C}D + \overline{A}BC\overline{D} +$$
$$+ A\overline{B}\overline{C}\overline{D} + A\overline{B}\overline{C}D + A\overline{B}C\overline{D} + AB\overline{C}\overline{D} + AB\overline{C}D + ABC\overline{D}$$

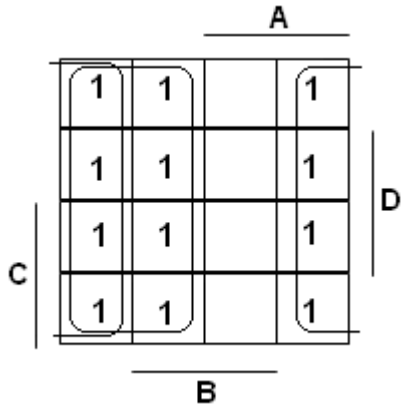
Спростимо рівняння за допомогою карти Карно.




$$F2 = \overline{C} + \overline{D} = \overline{CD}$$

$$F3 = \overline{A}\overline{B}\overline{C}\overline{D} + \overline{A}\overline{B}\overline{C}D + \overline{A}\overline{B}C\overline{D} + \overline{A}\overline{B}CD + \overline{A}B\overline{C}\overline{D} + \overline{A}B\overline{C}D +$$
$$+ \overline{A}BC\overline{D} + \overline{A}BCD + A\overline{B}\overline{C}\overline{D} + A\overline{B}\overline{C}D + A\overline{B}C\overline{D} + A\overline{B}CD$$

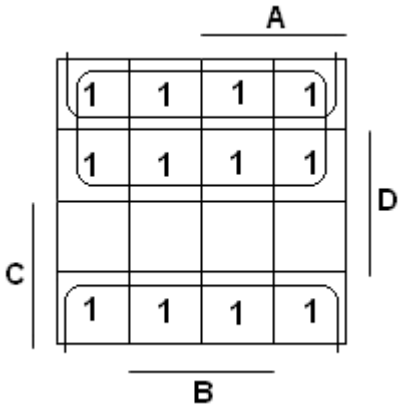
Спростимо рівняння за допомогою карти Карно.




$$F3 = \overline{A} + \overline{B} = \overline{AB}$$

$$F4 = \overline{A}\overline{B}\overline{C}\overline{D} + \overline{A}\overline{B}\overline{C}D + \overline{A}\overline{B}C\overline{D} + \overline{A}\overline{B}CD + \overline{A}B\overline{C}D + \overline{A}BC\overline{D} +$$
$$+ A\overline{B}\overline{C}\overline{D} + A\overline{B}\overline{C}D + A\overline{B}C\overline{D} + AB\overline{C}\overline{D} + AB\overline{C}D + ABC\overline{D}$$

Спростимо рівняння за допомогою карти Карно.




$$F4 = \overline{C} + \overline{D} = \overline{CD}$$

На підставі отриманих рівнянь строїмо логічний вузол трекера (рис. 2.5), та визначимо принцип функціонування приладу.

Коли фототранзистор VT1 не освітлений, на виході мікросхеми DD1 є напруга високого рівня. Те ж саме справедливо для фототранзисторів VT2, VT3 і VT4: якщо вони не освітлені, на відповідних виходах мікросхем інверторів DD2, DD3, DD4 є високий потенціал. Логічне завдання управління вирішується мікросхемами DD5, DD6, DD7, DD8. Вони є елементами І-НЕ. Якщо на обидва входи елементу І-НЕ подати високий потенціал, на виході встановиться напруга низького рівня.

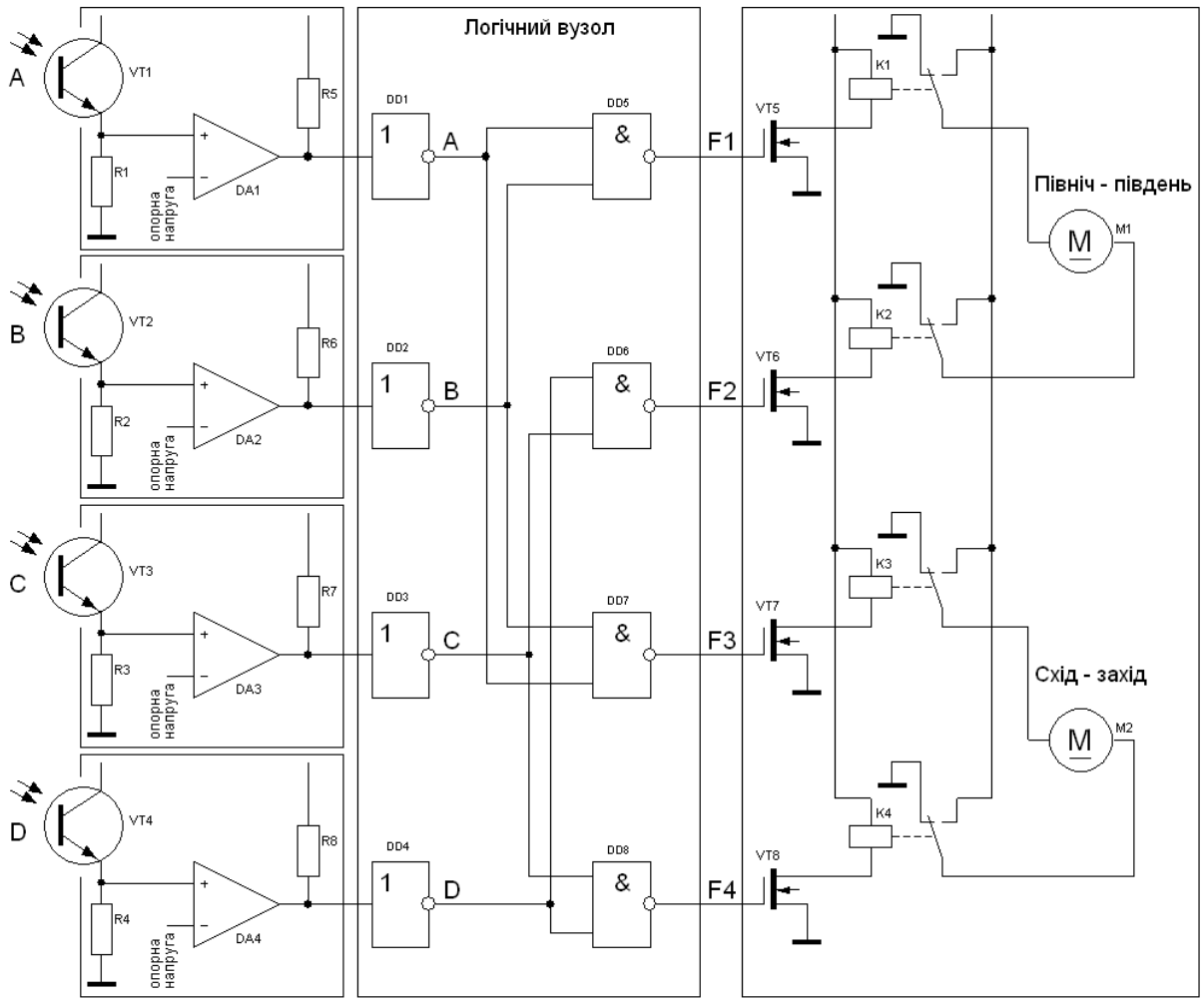



Рисунок 2.5 – Логічна схема функціонування трекера

Передбачимо спочатку, що на всіх виходах інверторів DD1, DD2, DD3, DD4 є високий потенціал (що відповідає темному часу доби). Потім допустимо, що промені уранішнього Сонця потрапляють в секцію А, освітлюючи фототранзистор VT1. В результаті на виході DD1 встановлюється низька напруга. На виході DD5 з'явиться напруга високого рівня. Вихідною напругою елементу І-НЕ управляється польовий транзистор МОН-структури з індукованим n-каналом, в коло стоку якого включено реле. Реле спрацьовує, коли на виході логічного елементу з'являється висока напруга. Всього в схемі чотири формувачі і чотири реле.

Контакти реле включені таким чином, що реле К1 і К2 управляють мотором М1, а реле К3 і К4 – мотором М2. Тоді по сигналу з фототранзистора VT1 мікросхема DD5 включить реле К1. При замиканні контак-

тів реле К1 на мотор М1 подається напруга, і азимутна стежача система обертається в північному напрямі, тому що, якщо світло падає на VT1, сонце має бути на півночі. Так здійснюється пошук Сонця системою.

Зниження вихідної напруги мікросхеми DD1 наводить ще до одного результату. На виході мікросхеми DD7 (вхід якої підключений до виходу DD1) встановлюється високий потенціал, і спрацьовує реле К3. Логічна схема DD7 через транзистор VT7 замикає реле К3 і мотор М2 починає повертати систему в західному напрямі.

В результаті одночасно обидва мотора переміщають пристрій в північно-західному напрямі, оскільки саме там знаходиться сонце.

Освітлення транзистора VT2 відповідатиме середньому положенню Сонця між північним і південним датчиками чутливої матриці. Як тільки це станеться, на виході мікросхеми DD2 встановиться напруга низького рівня, а на виході мікросхеми DD6 – напруга високого рівня і спрацює реле К2. Обидва виведення мотора підключаються до одного і тому ж полюса джерела живлення, і мотор зупиниться. В той же час стежача система продовжує пошук Сонця в напрямі на захід. Напрям на сонце знаходиться, коли обидва транзистора, VT2 і VT3, освітлюються його променями. В результаті спрацьовує реле К4 і мотор орієнтування системи в напрямі схід – захід зупиняється .

Коли освітлено всі чотири датчики, включаються всі чотири реле і мотори не працюють. Чутлива матриця виявила сонце і тепер точно направлена в його сторону. Будь-який зсув Сонця з цього положення викличе затінювання принаймні двох датчиків і повторне спрацьовування логічної схеми. Таким чином при повному оберті системи за світловий день, зі сходом Сонця геліостат автоматично розверне панель прийому сонячного випромінювання на сонце.

Живлення приладу можливо здійснити від сонячної батареї яка також позиціонується трекером. Отримана електроенергія накопичується акумулятором і через розроблений адаптер підключається електричної схеми трекера.

## 2.3 Особливості перетворення сигналу

При функціонуванні схеми мають місце певні явища. Кожен з чотирьох фототранзисторів працює незалежно від інших, тому процес перетворення сигналу відбувається чотирьохкратно. Вважатимемо, що всі чотири канали працюють ідентично, і доцільніше розглянути роботу лише одного з них.

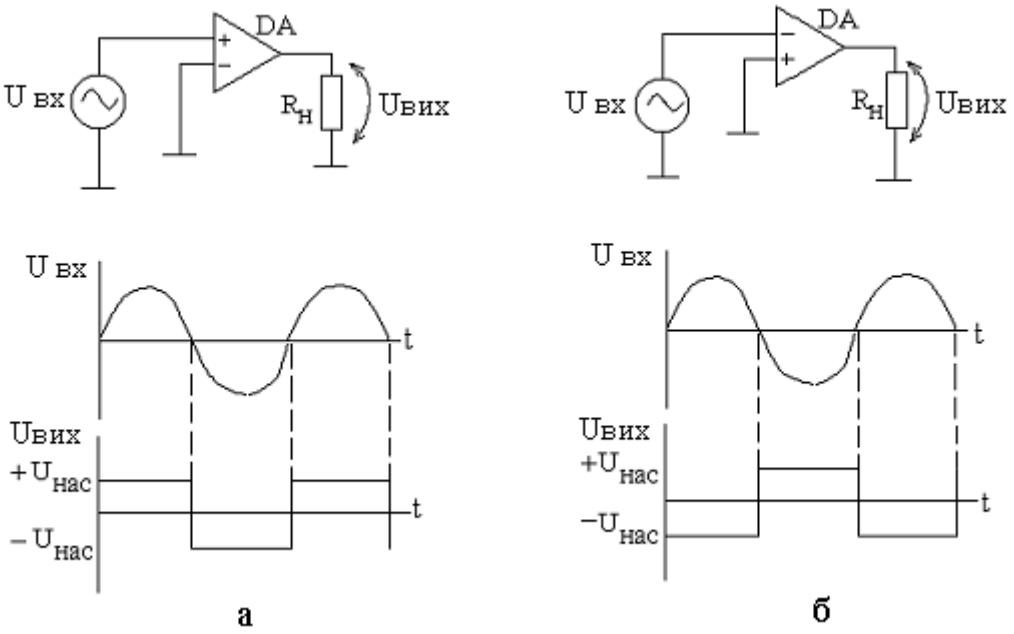
Спочатку світло перетвориться в електронний сигнал. Перетворення світла в електрику виконує фототранзистор. Чим більше світла падає на фототранзистор, тим більший струм протікає через нього.

У емітерному колі транзистора включений резистор, на якому при протіканні струму створюється падіння напруги. Падіння напруги на резисторі прямо пропорційно протікаючому струму, який у свою чергу пропорційний інтенсивності світла. Отже, велике засвічення викликає збільшення напруги.

З емітерного резистора напруга подається на неінвертуючий вхід компаратора напруги. Опорна напруга прикладена до інвертуючого входу. Компаратор служить для порівняння змінної напруги $U_{вх}$ з опорною і фіксації моменту рівності цієї напруги. Фіксація рівності характеризується ступінчастою зміною полярності вхідної напруги. Схеми простих компараторів (пристроїв, що порівнюють два вхідні сигнали) з використанням ОП і часових діаграм, які пояснюють їх роботу, представлені на рисунку 2.6.

Коли напруга, що поступає з емітерного резистора, перевищує опорну, на виході компаратора з'являється напруга високого рівня. Якщо напруга на емітері нижче опорної, на виході компаратора з'являється напруга низького рівня.

Робота схеми визначається величиною опорної напруги. Необхідною властивістю стежачої системи є можливість визначення рівня інтенсивності сонячного випромінювання, доцільного для практичного вживання. Це можна зробити за допомогою опорної напруги.




а – подача опорної напруги на інвертуючий вхід;

б – подача опорної напруги на неінвертуючий вхід

Рисунок 2.6 - Прості компаратори і часові діаграми їх роботи

Оскільки напруга на емітерному резисторі є функцією інтенсивності сонячного світла, по величині цієї напруги можна судити про те, що інтенсивність випромінювання досягає практично прийнятного рівня. Цей рівень визначає компаратор: вхідна напруга перевершує опорну, досягнутий необхідний світловий рівень. Таким чином, реле не може спрацювати, поки напруга на емітері не перевершить значення, відповідне мінімальному рівню інтенсивності сонячного випромінювання. Більш того, на всі компаратори подається опорна напруга від одного і того ж джерела, і, отже, одна установка напруги діє на всі компаратори. При збільшенні порогу спрацьовування одного каналу збільшується поріг спрацьовування всіх інших.

У вихідному каскаді компаратора стоїть транзистор з відкритим колектором, до якого для зняття вихідного сигналу необхідно підключити опір навантаження. Для узгодження з входом елементів І-НІ і за логікою роботи вихідний сигнал компаратора пропускається через інвертор.

## 2.4 Аналіз функціонування схеми в програмному забезпеченні Electronics Workbench

Додаток Electronics Workbench є засобом програмного моделювання і імітації електричних кіл.

Імітація роботи фототранзистора (рис. 2.7) представлена у вигляді схеми емітерного повторювача на звичайному біполярному транзисторі.

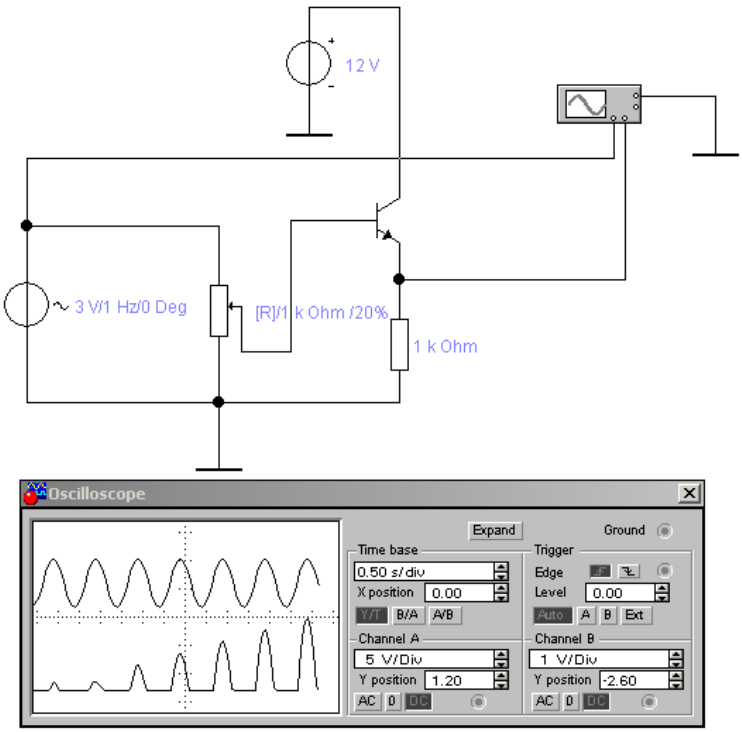



Рисунок 2.7 – Імітація роботи фототранзистора

Аналіз схеми показує синфазне з вхідним зміна напруги на емітері транзистора. Із збільшенням напруги на базі транзистора (збільшенням освітленості фототранзистора) амплітуда вихідної напруги збільшується.

До емітерного повторювача підключимо компаратор на операційному підсилювачі (рис. 2.8). На інверсний вхід компаратора подається опорна напруга. Аналіз функціонування показує, що при напрузі на прямому вході операційного підсилювача менше ніж Еоп (фототранзистор затінений), на виході схеми логічний 0, якщо амплітуда вхідного сигналу перевищує Еоп (фототранзистор освітлений сонцем), на виході схеми логічна 1.

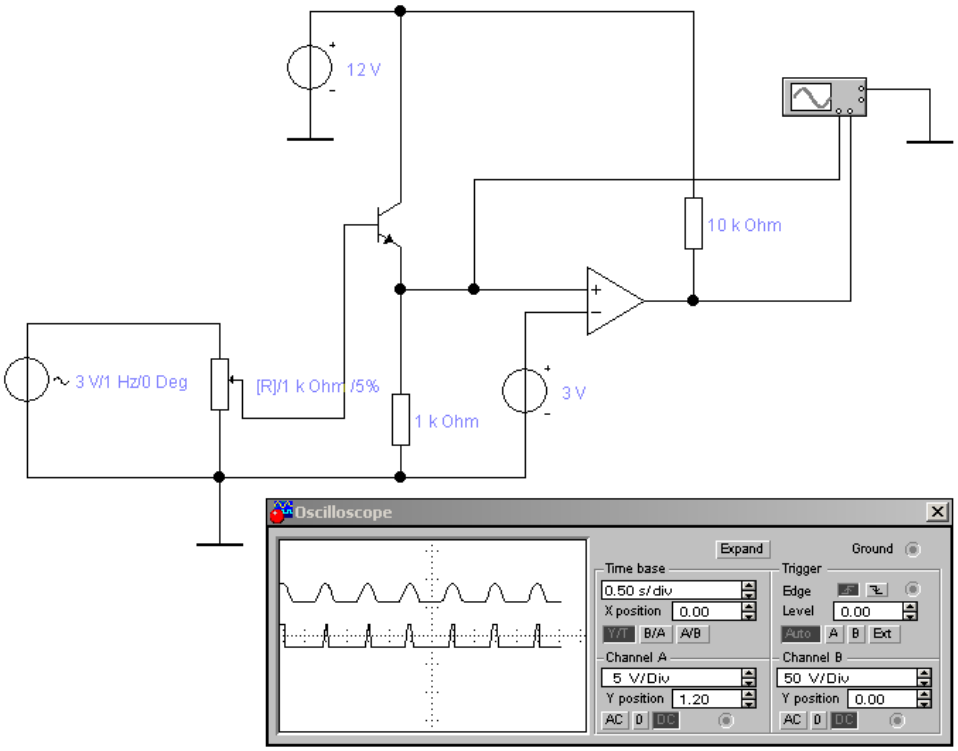



Рисунок 2.8 – Імітація роботи компаратора

Логічний вузол (рис. 2.9) інвертує сигнали компаратора і комутує їх на елементи 2-І-НЕ. Сигнали компаратора імітуються інструментом Word Generator.

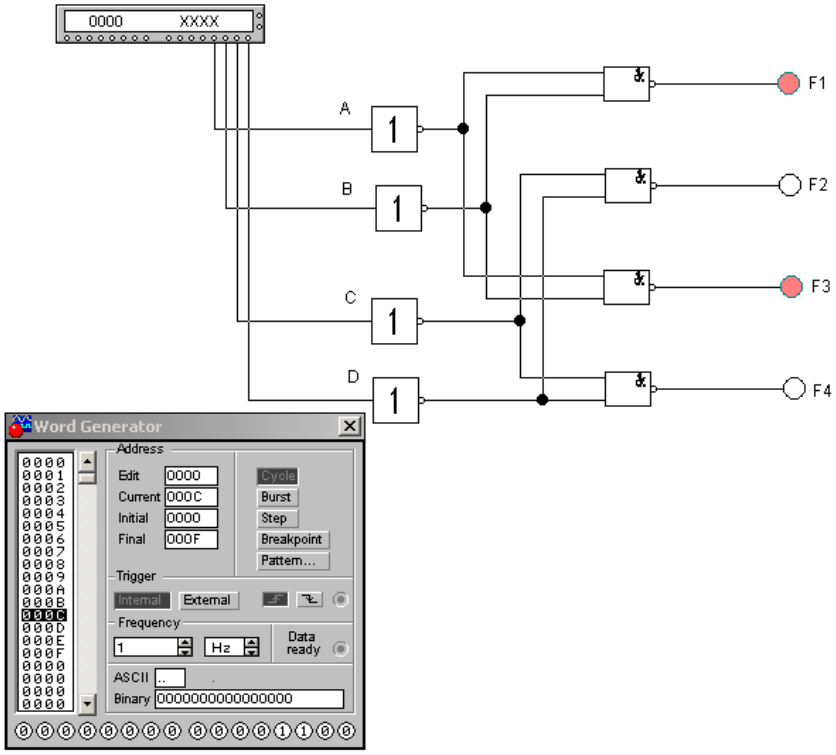



Рисунок 2.9 – Імітація роботи логічного вузла

При позиції представленій на рисунку 2.9 освітлені фото транзистори секторів A і B (рис. 2.3). На виходах F1, F2 – логічна 1, на виходах F3, F4 – логічний 0. У цьому випадку мотор M1 повинен обертатися на північ, а мотор M2 на захід. Аналіз функціонування логічно вузла показує відповідність відпрацювання вхідних послідовностей і отриманих вихідних сигналів таблиці 2.1.

Схема трекера (рис. 2.10) реалізована на сучасній елементній базі. Фототранзистори TIL414, операційні підсилювачі на мікросхемі LM339D, логічні елементи 2-І-НЕ на мікросхемі К564ЛА7, польові транзистори з індукованим n-каналом IRF511, діоди, які шунтують обмотки реле, для усунення кидків напруги при перемиканні, 1N4002.

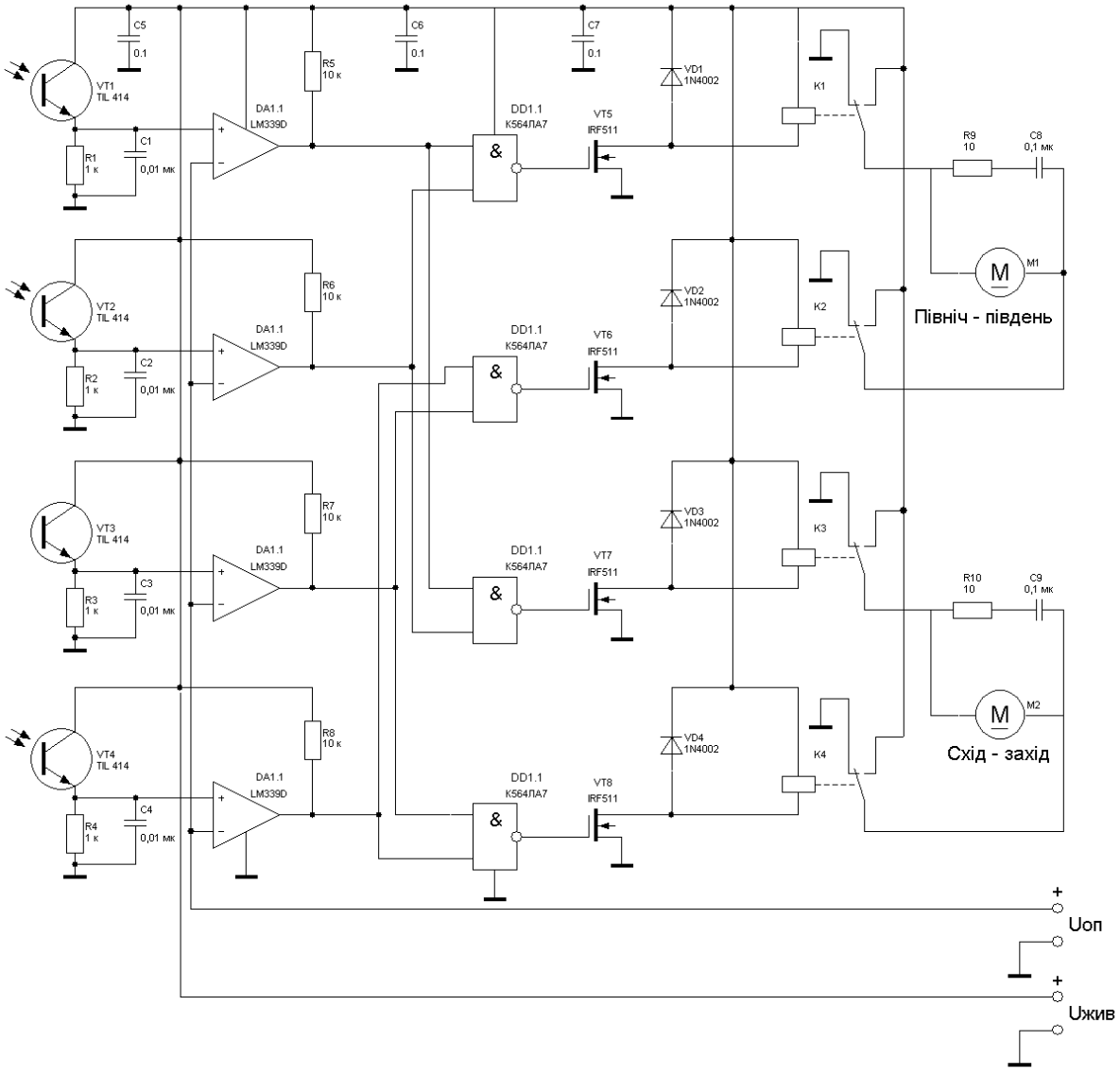



Рисунок 2.10 – Схема електрична принципова трекера

## 2.5 Розробка печатної плати пристрою стеження за сонцем

Електронна частина схеми виконана із застосуванням печатного монтажу. Розводка струмопровідних доріжок печатної плати приведена на рисунках 2.11 і 2.12. Печатна плата виконана з двохстороннього фольгованого текстоліту розміром 80 × 180 см і змодельована в програмному застосуванні Layout 40.

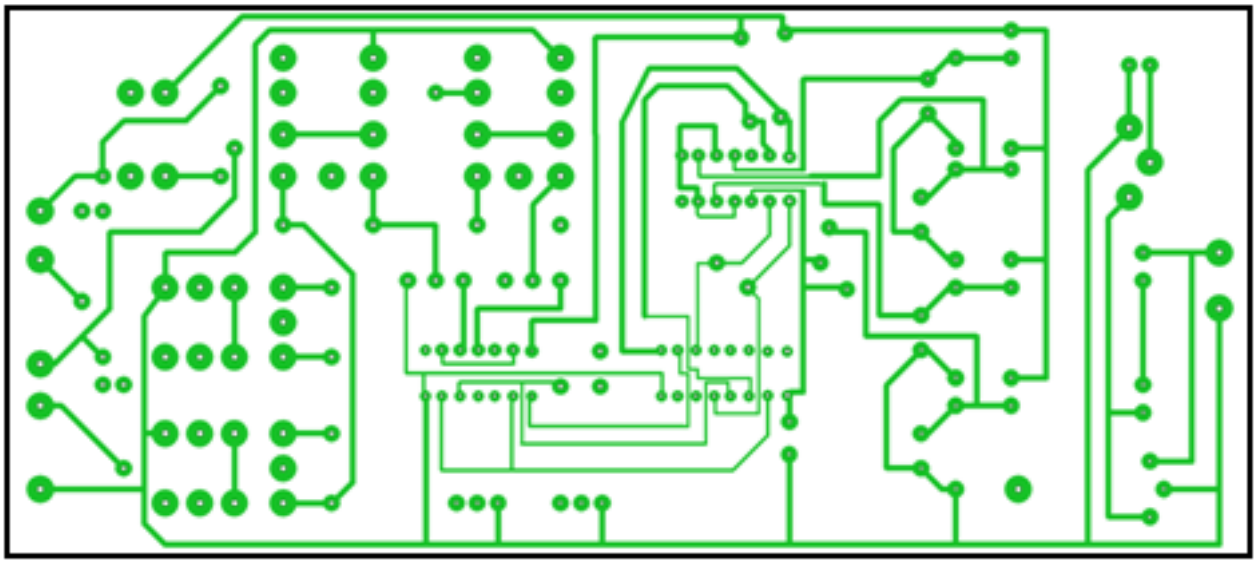


Рисунок 2.11 – Печатна плата з сторони струмопровідних доріжок

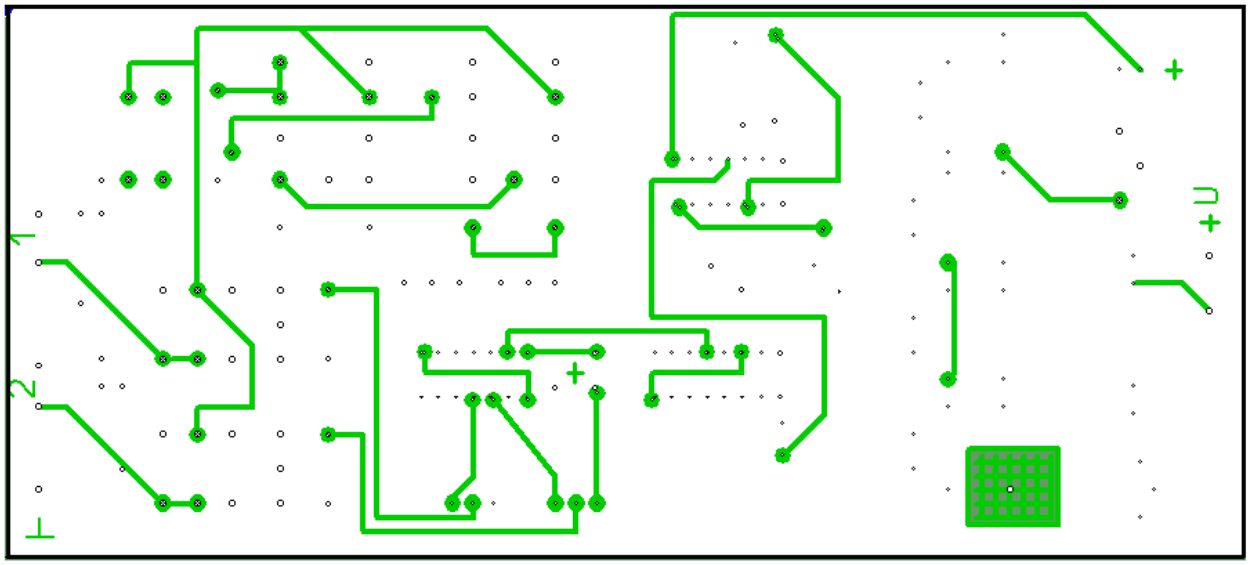



Рисунок 2.12 – Печатна плата з сторони навісних елементів

Із-за наявності реле печатна плата має чималі розміри. Використовуються стандартні реле типа двополюсного перемикача в прозорому корпусі. Контакти розраховані на струм 10 А при змінній напрузі 123 В. Тем не менш обмежуючим чинником є не той постійно протікаючий струм, який витримують контакти реле, а струм, який вони можуть переривати. Тому для збільшення граничних комутованих струмів дві пари контактів включаються послідовно.

Відомо, що при розмиканні контактів виникає електрична дуга. Вона викликана ЕРС самоіндукції, що виникає при розриві кола живлення електромотора. У колі змінного струму дуга швидко пропадає при реверсуванні напряму електричного поля. Проте в колі постійного струму дуга може підтримувати себе тривалий час. Запобігти, утворення дуги можна збільшенням відстані між контактами і швидкості їх роз'єднання.

При послідовному з'єднанні контактів реле сумарна відстань між розімкненими контактами подвоюється і збільшується швидкість їх роз'єднання. Отже, реле може комутувати навантаження, що перевищує паспортне значення. Реле зазвичай поставляється разом із сполучним роз'ємом, що дуже корисно для узгодження з моторами стежачої системи, оскільки реле випускаються на різну стандартну напругу живлення в діапазоні від 6 В постійного або змінного струму до 120 В.

Для зручності шина живлення реле ізольована від плюсового дроту живлення. Для підключення реле до «плюса» джерела живлення припаюється перемичка.

Якщо використовуються реле з напругою живлення більше 60 В постійного струму, необхідно підібрати польові транзистори, що витримують велику напругу (вони випускаються на напругу понад 400 В). При цьому слід замінити і діоди VD – VD4 на діоди, розраховані на більшу напругу. Не використовуються діоди з реле, що живляться від змінного струму.

Інша частина пристрою, що вимагає особливої уваги, – емітерні резистори R1, R2, R3 і R4. Складно знайти чотири фототранзистори з настільки

близькими характеристиками, що напруга їх емітерів збіжиться при однаковій освітленості. Для компенсації розкиду параметрів необхідно підібрати значення емітерних резисторів. Номінал в 1 кОм – це лише орієнтовне значення резисторів при наладці, і його необхідно підбирати точніше. Величина опору може залежати від температури. Найпростіше підібрати величину опору, замінивши постійний резистор змінним. Виміри проводилися з величини опору 1 кОм. При освітленні чутливої матриці світлом з різними рівнями інтенсивності можна отримувати певну таблицю значень напруги. Сонячне освітлення не може бути замінене світлом лампи розжарювання. Фототранзистори чутливі до інфрачервоного випромінювання і по-різному реагують на ці джерела світла. Якщо при вимірах виявлялося, що один фототранзистор реагує дуже швидко на зміну освітленості, зменшували величину резистора. Проте при цьому необхідно було понизити опір всіх резисторів, аби зберегти нормальну працездатність схеми. Зрештою знайдені значення, при яких компаратори, по сигналах що поступає від відповідних фототранзисторів, спрацьовували при однаковому рівні світла. Набуте значення опору змінного резистора заміялося і він замінювався постійним того ж номіналу.

## 2.6 Розробка блоку живлення схеми трекера

Згідно з поставленим завданням блок живлення схеми трекера заснован на акумулюванні електроенергії отриманої за допомогою сонячних батарей з подальшим її перетворенням.

### 2.6.1 Основні характеристики і принципи роботи сонячних батарей

Проста конструкція сонячного елементу (СЕ) – приладу для перетворення енергії сонячного випромінювання – на основі монокристалічного

кремнію показана на рисунку 2.13. На малій глибині від поверхні кремнієвої пластини p-типа сформований p-n-перехід з тонким металевим контактом. На тильну сторону пластини нанесений суцільний металевий контакт.

Коли СЕ освітлює, поглинені фотони генерують нерівноважні електрон- діркові пари. Електрони, що генеруються в p-шари поблизу p-n-переходу, личать до p-n-переходу і електричним полем, що існує в нім, виносяться в n-область.

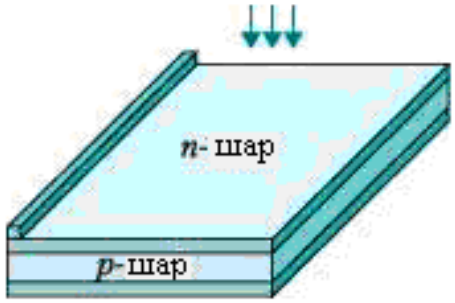
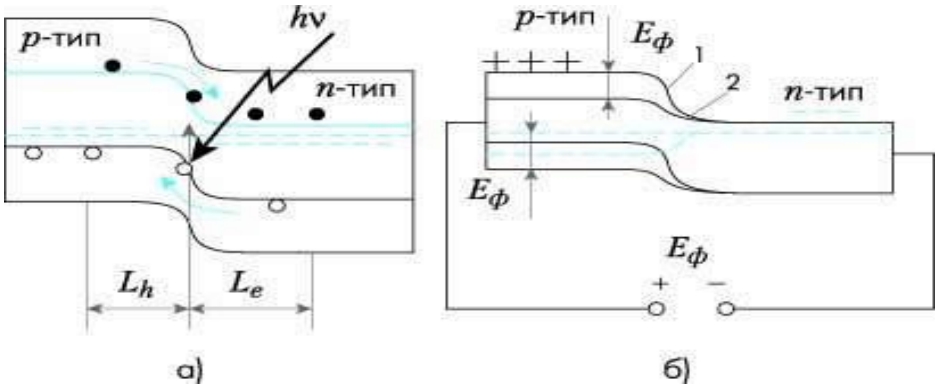



Рисунок 2.13 – Конструкція сонячного елементу

Аналогічно і надлишкові дірки, створені в n-шарі, частково переносяться в p-шар (рис. 2.14, а). В результаті n-шар набуває додаткового негативного заряду, а p-шар – позитивного. Знижується первинна контактна різниця потенціалів між p- і n-шарами напівпровідника, і в зовнішньому колі з'являється напруга (рис. 2.14, б) [5].




а) - в початковий момент освітлення;

б) - зміна зонній моделі під дією постійного освітлення і виникнення фото ЕРС

Рисунок 2.14 - Зонна модель розімкненого p-n-переходу

Величина сталою фото ЕРС при освітленні переходу випромінюванням постійної інтенсивності описується рівнянням вольт-амперної характеристики (ВАХ) (рис. 2.15):

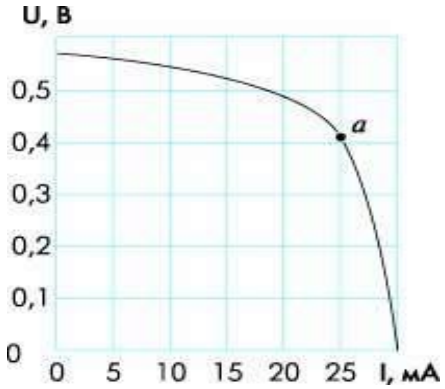



Рисунок 2.15 - Вольт-амперна характеристика сонячного елементу

$$U = \left(\frac{kT}{q}\right)\ln\left(\frac{I_{ph}}{I_s + 1}\right),$$

де $I_s$– струм насичення, а $I_{ph}$ – фотострум.

ВАХ пояснює еквівалентна схема фотоелементу (рис. 2.16), що включає джерело струму:

$$I_{ph} = SqN_0Q,$$

де S – площа фотоелемента, а коефіцієнт збирання Q – безрозмірний множник (<1), що показує, яка доля всіх створених світлом електронно-діркових пар ($SN_0$) збирається p-n-переходом.

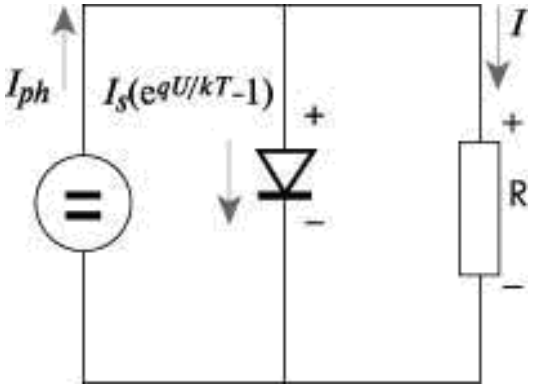



Рисунок 2.16 – Еквівалентна схема сонячного елементу

Паралельно джерелу струму включений p-n-перехід, струм через який дорівнює $I_s(e^{qU/kT}–1)$. p-n-Перехід шунтує навантаження, і при збільшенні напруги струм через нього швидко зростає. У навантаження (опір R) відбирається струм I.

Рівняння ВАХ справедливо і при освітленні фотоелемента світлом довільного спектрального складу, змінюється лише значення фотоструму Iph. Максимальна потужність відбирається у тому випадку, коли фотоелемент знаходиться в режимі, відміченому точкою а ( рис. 2.15). Максимальна потужність, що знімається з 1 $см^2$, дорівнює:

$$P = I_{ph}U = xI_{кз}U_{xx},$$

де x – коефіцієнт форми або коефіцієнт заповнення вольт- амперної характеристики, $I_{кз}$ – струм короткого замикання, $U_{xx}$ – напруга холостого ходу.

### 2.6.2 Конструкції і матеріали сонячних елементів

Для ефективної роботи сонячних елементів необхідне дотримання ряду умов:

- оптичний коефіцієнт поглинання ($\alpha$) активного шару напівпровідника має бути чималим, аби забезпечити поглинання істотної частини енергії сонячного світла в межах товщини шару;

- електрони, що генеруються при освітленні, і дірки повинні ефективно збиратися на контактних електродах з обох боків активного шару;

- сонячний елемент повинен володіти значною висотою бар'єру в напівпровідниковому переході;

- повний опір, включений послідовно з сонячним елементом (виключаючи опір навантаження), має бути малим для того, щоб зменшити втрати потужності (тепло джоуля) в процесі роботи;

- структура тонкої плівки має бути однорідною по всієї активної області сонячного елементу, аби виключити закорочення і вплив шунтуючих опорів на характеристики елементу.

Виробництво структур на основі монокристалічного кремнію, що задовольняють даним вимогам, – процес технологічно складний і дорогий. Тому увага була обернена на такі матеріали, як сплави на основі аморфного кремнію (a-Si:H), арсенід галію і полікристалічні напівпровідники [6].

Одним з найбільш перспективних матеріалів для створення високоефективних сонячних батарей є арсенід галію. Це пояснюється таким його особливостями, як:

- майже ідеальна для одноперехідних сонячних елементів ширина забороненої зони 1,43 еВ;

- підвищена здібність до поглинання сонячного випромінювання: потрібний шар завтовшки всього в декілька мікрон;

- висока радіаційна стійкість, що спільно з високою ефективністю робить цей матеріал надзвичайно привабливим для використання в космічних апаратах;

- відносна нечутливість до нагріву батарей на основі GaAs;

- характеристики сплавів GaAs з алюмінієм, миш'яком, фосфором або індієм доповнюють характеристики GaAs, що розширює можливості при проектуванні СЕ.

Головне достоїнство арсеніду галію і сплавів на його основі —широкий діапазон можливостей для дизайну СЕ. Фотоелемент на основі GaAs може складатися з декількох шарів різного складу. Це дозволяє розробникові з великою точністю управляти генерацією носіїв заряду, що в кремнієвих СЕ обмежено допустимим рівнем легування. Типовий СЕ на основі GaAs складається з дуже тонкого шару AlGaAs як вікно.

Основний недолік арсеніду галію – висока вартість. Для здешевлення виробництва пропонується формувати СЕ на дешевших підкладках; вирощувати шари GaAs на підкладках, що видаляються, або підкладках багатократ-

ного використання. Полікристалічні тонкі плівки також вельми перспективні для сонячної енергетики [7].

Окремі сонячні елементи не дають великої потужності на виході, тому сонячні елементи послідовно з'єднуються в сонячні модулі, які у свою чергу паралельно з'єднуються в сонячні батареї як представлено на рисунку 2.17.

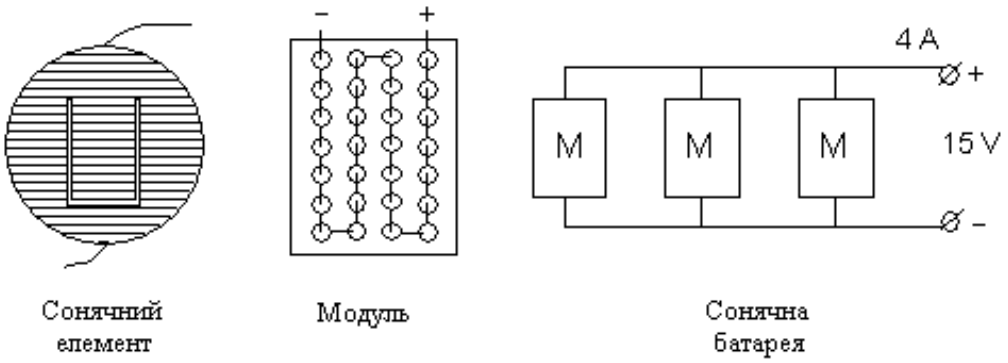



Рисунок 2.17 – Конструкція сонячної батареї

Найбільш типові фотоелектричні модулі - це кремнієві потужністю 40-160 пікових ват (тобто потужністю максимум в 40 – 160 Вт при яскравому сонці). Такий сонячний модуль має розмір від 0,4 до 1,6 м$^2$. Проте, широкий типорозмірний ряд сонячних модулів доступний у продажу.

Сонячні модулі по-іншому називають сонячні панелі, які з'єднуються в сонячні батареї (arrays) для того, щоб отримати потужність необхідну для автономного працювання трекера необхідно 2 модулі по 50 Вт, сполучених разом, еквівалентні модулю потужністю 100 Вт), – рис. 2.18.




Рисунок 2.18 – Сонячна батарея для блока живлення трекера

ККД доступних у продажу модулів варіюється в межах 5 – 15%. Це означає, що 5 – 15% від кількості енергії, падаючої на сонячний елемент, буде трансформовано в електрику. Дослідницькі лабораторії у всьому світі розробляють нові матеріали для СЕ з вищим ККД (до 30%). Вартість виробництва також дуже важлива. Деякі нові технології (такі як, наприклад, тонкоплівкові), дозволяють виробляти СЕ у великих масштабах, що значно понизить вартість елементів і модулів.

### 2.6.3 Сонячна енергетична установка для живлення трекера

Основні компоненти сонячної енергетичної установки представлені на рисунку 2.19 і включають: Б – сонячну батарею з приладами контролю і управління; А – акумуляторну батарею; Р – регулятор заряду акумуляторної батареї.

Не дивлячись на нерівномірність добового потоку сонячного випромінювання і його відсутність в нічний час, акумуляторна батарея накопичує електрику яка виробляється сонячною батареєю та дозволяє забезпечити безперервну роботу сонячної енергетичної установки.

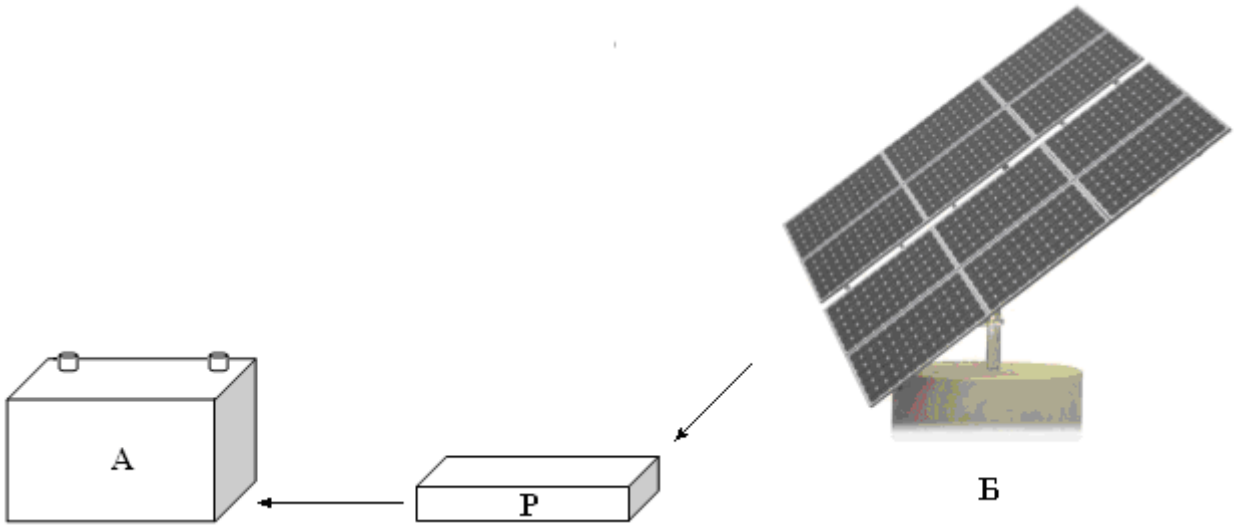



Рисунок 2.19 - Компоненти сонячної енергетичної установки

Свинцево-кислотні акумуляторні батареї фактично складаються з декількох елементів, сполучених послідовно. Кожен елемент, що розвиває напругу до 2 В, містить дві свинцеві пластини, поміщені в слабкий розчин сірчаної кислоти. При протіканні електричного струму через елемент відбувається оборотна електрохімічна реакція, і в елементі запасається електрична енергія.

Струм, необхідний для заряду акумуляторної батареї, залежить від міри зарядженої акумуляторних елементів. Звідси витікає необхідність створення регулятора заряду, що оцінює стан розрядженої батареї і залежно від нього керівника зарядним струмом.

Відомо три способи заряду свинцево-кислотних акумуляторів. При заряді від сонячних елементів найбільш придатний спосіб з двоступінчатим зарядним циклом (рис. 2.20).

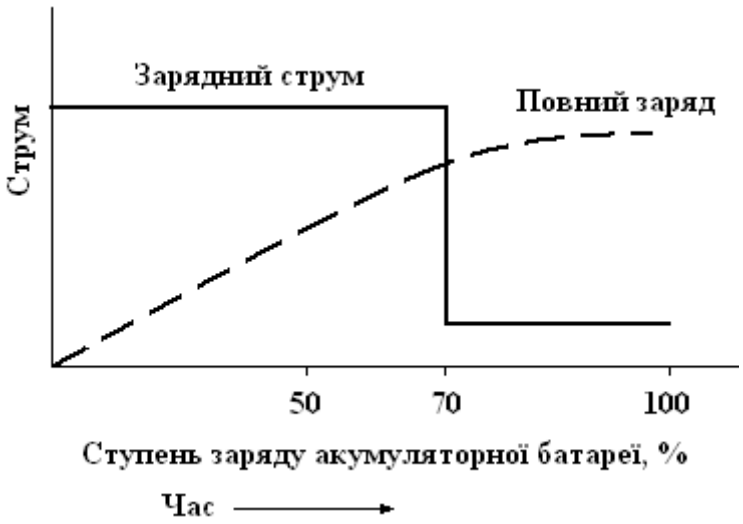



Рисунок 2.20 - Двоступінчатий зарядний цикл

Оптимальним режимом заряду буде такий, при якому виділення газу почнеться приблизно через 4 години після початку заряду батареї. Цей час відповідає найбільшій інтенсивності сонячного випромінювання в світлий час доби, обачно в інтервалі 10 - 14 годин. Незалежно від сезонних змін і погодних русловий саме в цей час доби можна досягти максимальної віддачі від сонячних елементів.

### 2.6.4 Розробка регулятора заряду

Для нормальної роботи регулятора заряду, що задовольняє вимогам до зарядного струму, необхідно мати інформацію про міру зарядженої акумуляторної батареї у будь-який момент часу. Встановлене співвідношення між кількістю запасеного в батареї заряду і напругою на ній. Як видно з рисунка 2.21, це відношення майже завжди лінійно.

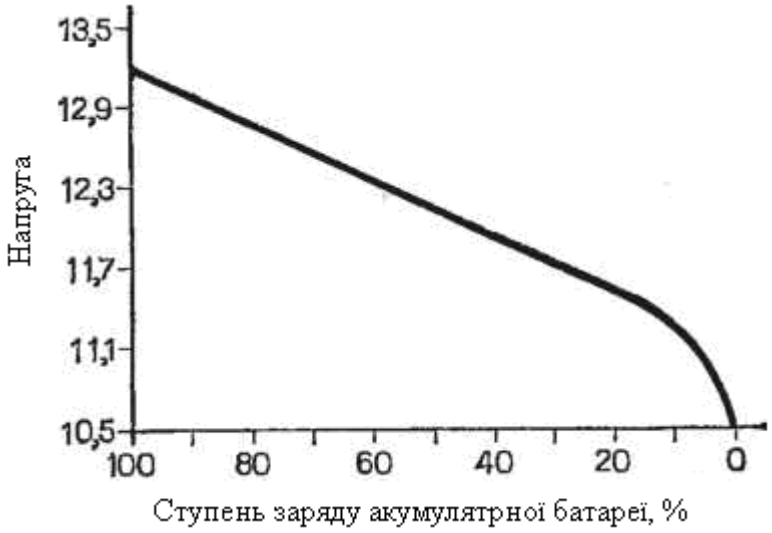



Рисунок 2.21 - Співвідношення між кількістю запасеного в батареї заряду і напругою на ній

Область заряду, що нас цікавить, лежить в межах 70—80 % від повного заряду батареї. Саме досягши такої міри зарядженої починається газовиділення і необхідно змінити зарядний струм. Для 12-вольтової батареї в цій точці напруга складає 12,6 В. Повністю заряджена батарея розвиває напругу 13,2 В.

Визначаючи напругу на батареї, можна регулювати зарядний струм. Якщо напруга нижче 12,6 В, то акумуляторні елементи містять менше 80 % заряду і регулятор видає повний зарядний струм. Коли ж напруга на батареї піднімається вище 12,6 В, необхідно понизити зарядний струм до рівня підживлючого струму.

За напругою на батареї стежить спеціальний пристрій (компаратор), який є не що інше, як звичайний підсилювач з дуже великим коефіцієнтом посилення. Компаратор, включений в схему, представлену на рисунку 2.22, можна використовувати як операційний підсилювач.

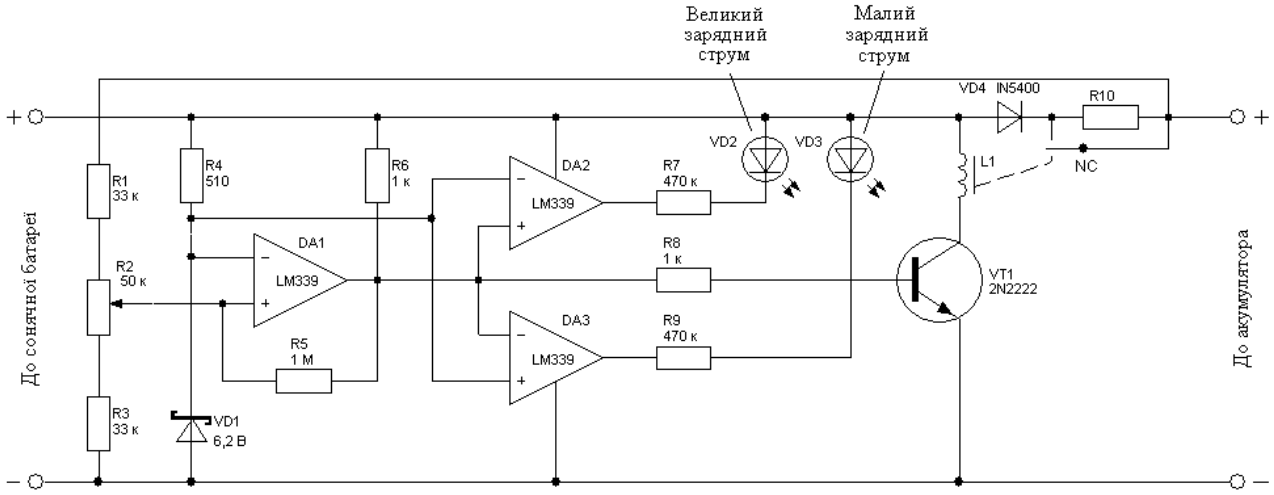



Рисунок 2.22 – Схема регулятора заряду

Компаратор порівнює дві напруги – виміряєму і опорну, які подаються на його входи. На інвертуючий вхід компаратора (–) подається опорна напруга із стабілітрона VD1. Цією напругою задається рівень спрацьовування пристрою.

Напруга батареї ділиться резисторами R1, R2 і R3 так, щоб вона приблизно дорівнювала напрузі стабілізації діода VD1. Напруга, поділена резисторами, подається на неінвертуючий вхід (+) компаратора з движка потенціометра R2 точного налаштування порогу перемикання.

Якщо напруга акумуляторної батареї зменшиться настільки, що сигнал на неінвертуючому вході опуститься нижче за межу, визначувану діодом VD1, на виході компаратора встановиться негативна напруга. Якщо ж напруга батареї піднімається вище опорної, на виході компаратора встановиться позитивна напруга. Перемикання знаку напруги на виході компаратора і забезпечуватиме необхідне регулювання зарядного струму.

### 2.6.5 Принцип функціонування регулятора заряду

Зарядний струм регулюється за допомогою електромагнітного реле. Реле управляється через транзистор VT1 вихідною напругою компаратора. Негативна напруга на виході компаратора означає, що батарея розряджена і потрібний повний зарядний струм (транзистор VT1 закритий). Отже, колекторний струм дорівнює нулю і реле вимкнено.

Нормально замкнуті контакти реле шунтують резистор R10. Коли реле вимкнене, резистор виключений з кола і повний струм від сонячних елементів поступає на акумуляторну батарею.

Із збільшенням міри зарядженості зростає напруга на акумуляторній батареї. Виділення газу починається, коли напруга досягне 12,6 В. Компаратор, налаштований на цей рівень, перемикається (на виході компаратора плюс). Транзистор відкривається, і колекторний струм включає реле. Контакти реле, що шунтували резистор R10, розмикаються.

Тепер зарядний струм від сонячних елементів повинен здолати опір обмежуючого резистора. Номінал цього резистора вибирається таким, аби величина зарядного струму склала 2% від ємкості батареї. Поблизу напруги перемикання компаратора є деяка невизначеність. Компаратор перемкнеться назад і відновиться режим великого зарядного струму. Оскільки напруга на акумуляторній батареї дуже близька до 12,6 В, то різке зростання струму викличе стрибок напруги до рівня, перевищуючого 12,6 В. В результаті реле знову вимкнеться. У цих умовах відбуватиметься перемикання компаратора туди і назад поблизу напруги спрацьовування. Для виключення цього небажаного ефекту, званого «рисканням», в підсилювач вводиться невеликий позитивний зворотний зв'язок за допомогою резистора R5, що створює гістерезисну зону нечутливості.

За наявності гістерезису для спрацьовування компаратора потребується більша зміна напруги, чим раніше. Як і раніше, компаратор перемкнеться при 12,6 В, але для його повернення в попередній стан напруга на акумуляторній

батареї повинна знизитися до 12,5 В. Тем самим коливальний ефект виключається.

Послідовне включення діода VD4 в зарядне коло передохороняє акумуляторну батарею від розряду через сонячні елементи в темний час доби (вночі). Цей діод запобігає також вжитку енергії регулятором заряду від акумуляторної батареї. Регулятор повністю живиться від сонячних елементів.

### 2.6.6 Індикаторний пристрій

У регулятор заряду введений індикаторний пристрій, призначений для відображення режиму роботи регулятора у будь-який момент часу. Хоча індикатор не є необхідною частиною пристрою, проте його наявність підвищує зручність роботи з регулятором.

Індикаторний пристрій складається з двох компараторів і двох світловилучаючих діодів. Інвертуючий вхід одного компаратора і неінвертуючий іншого сполучені із стабілітроном, що виробляє опорну напругу. Останні входи компараторів сполучені з виходом компаратора, керуючого зарядним струмом. Верхній компаратор спрацьовує і включає світлодіод VD2, коли регулятор працює в режимі великого зарядного струму. Якщо регулятор перемикається в режим підживлюючого струму, верхній компаратор вимикається, а нижній спрацьовує і включає світлодіод VD3.

Розроблений пристрій функціонує згідно з поставленими вимогами, що до трекерів і дозволяє орієнтувати геліосистеми на сонце.

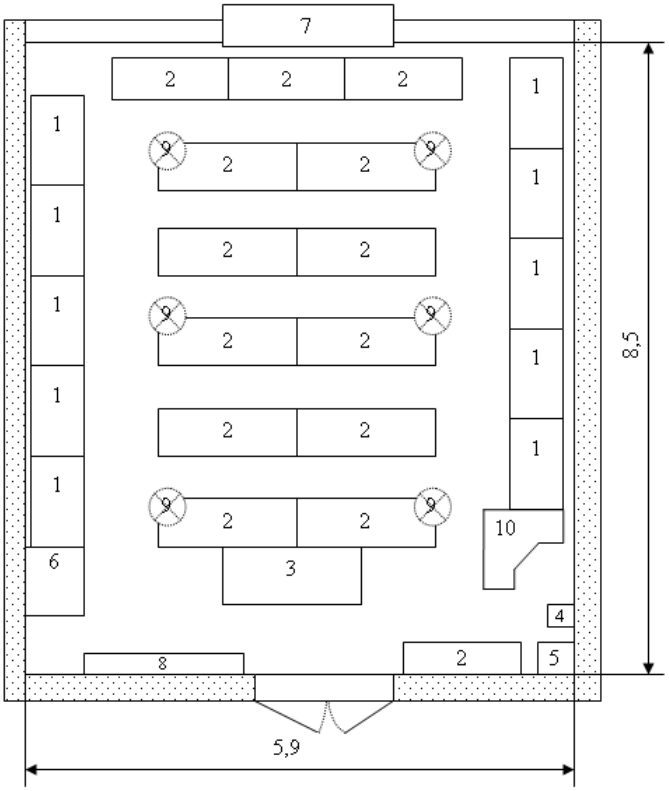
Автономне живлення схеми трекера дозволяє використовувати його незалежно від зовнішніх електричних мереж.

Розрахована модель дозволяє визначити схилення Сонця, годинний кут Сонця і тривалість сонячного випромінювання протягом доби в певній точці.

# 3 Охорона праці та техногенна безпека при розробці сонячного трекера підвищеної чутливості

## 3.1 Характеристика потенційних небезпечних та шкідливих виробничих факторів

При виконанні дипломної роботи комп’ютерне моделювання та макетування сонячного трекера підвищеної чутливості, проводилися в аудиторії № 216 кафедри MEIC, план якої представлено на рисунку 3.1.




1 - стіл комп'ютерний; 2 - стіл аудиторний; 3 - стіл викладача; 4 - автомат відключення електричного живлення; 5 - шафа силова; 6 - шафа універсальна; 7 - спліт система; 8 - дошка аудиторна; 9 - світильник 4-х ріжковий; 10 - стіл адміністратора мережі

Рисунок 3.1 – План аудиторії № 216

Площа приміщення складає 50,15 м$^2$; об’єм 188,06 м$^3$; довжина приміщення 8,5 м; ширина приміщення 5,9 м; висота приміщення 3,5 м; число вікон 1; число робочих місць 2; освітлення: природне (через бічне вікно) і загальне штучне. Параметри приміщення задовольняють нормативним значенням: площа 6 м$^2$, об’єм 20 м$^3$ на одного працюючого [12].

Роботи, що проводяться в дослідницькій лабораторії, не представляють великої небезпеки, оскільки приміщення інженерної академії належать до приміщень без підвищеної небезпеки. Проте вживання електроустаткування може нести в собі ряд шкідливих і небезпечних для життя і здоров'я людей чинників, що працюють з ним. Основну небезпеку дослідницької лабораторії представляють використання електроприладів, які працюють при напрузі тих, що є небезпечними для життя.

Дія електричного струму на живу тканину носить своєрідний характер. Проходячи через організм, електричний струм виробляє термічну, електролітичну і біологічну дію [13].

Міра небезпечної і шкідливої дії на людину електричного струму і електричної дуги залежить від роду і величини напруги струму, частоти струму, дороги струму через тіло організму, тривалість дії електричного струму, умов зовнішнього середовища.

У дослідницькій лабораторії існує можливість виникнення небезпеки при роботі з шкідливими речовинами в процесі моделювання плати пристрою. При монтажі електронних плат застосовують ацетон, спирт для знежирення і очищення від пилу мікросхеми, а також олово і каніфоль для припаювання ніжок напівпровідникового приладу до плати.

Спирт, ацетон викликає сухість шкіри. При систематичному вдиханні можливі захворювання сітківки ока. Також можливі нирко-психічні захворювання. Каніфоль дратівливо діє на слизисті оболонки дихальних шляхів і на шкіру, що наводить до дерматитів.

При недостатній освітленості на робочому місці може виникнути зорова втома.

## 3.2 Заходи з поліпшення умов праці

Забезпечення безпеки пацієнтів і медичного персоналу від поразки електричним струмом при експлуатації - медичних електронних апаратів є одним з найважливіших умов їх проектування.

При проведенні лікувально-діагностичних заходів дотик пацієнта до якої-небудь заземленої металевої поверхні може викликати зміну напряму робочого струму, що в кращому разі понизить точність виміру. Тому коло пацієнта повинно мати подвійну або посилену ізоляцію, здатну витримати випробувальну напругу не менше 4000 В (при мережевій напрузі 150 … 200 В).

Міра небезпечної і шкідливої дії на людину електричного струму і електричної дуги залежить від роду і величини напруги струму, частоти струму, шляху струму через тіло організму, тривалість дії електричного струму, умов зовнішнього середовища [14].

У дослідницькій лабораторії існує можливість виникнення небезпеки при роботі з шкідливими речовинами в процесі моделювання плати пристрою. При монтажі електронних плат застосовують ацетон, спирт для знежирення і очищення від пилу мікросхеми, а також олово і каніфоль для припаювання ніжок напівпровідникового приладу до плати.

Спирт, ацетон викликає сухість шкіри. При систематичному вдиханні можливі захворювання сітківки ока. Також можливі нирко-психічні захворювання. Каніфоль дратівливо діє на слизисті оболонки дихальних шляхів і на шкіру, що наводить до дерматитів.

При недостатній освітленості на робочому місці може виникнути зорова втома.

У таблиці 3.1 [13] приведені гранично допустимі значення параметрів, що характеризують якість посиленої ізоляції, ці значення забезпечують необхідні умови електробезпеки діагностичних пристроїв.

Максимальна електробезпека забезпечується пристроями діагностики з внутрішніми джерелами живлення, споживаючими мало енергії.

Таблиця 3.1 – Допустимі значення параметрів, що характеризують якість посиленої ізоляції

| Стан ізоляції | | Норма | Одиничні порушення |
|---|---|---|---|
| Мережа-корпус | Imax, мкА | 100 | 500 |
| | Rmin, МОм | 7 | |
| | Umin, В | 4000* | |
| | ‘’min, мм | 8** | |
| | ‘min, мм | 5** | |
| Мережа-ємкісний вимірник | Imax, мкА | 100 | 500 |
| | Rmin, МОм | 7 | |
| | Umin,В | 4000* | |
| | ‘’min, мм | 8** | |
| | ‘min, мм | 5** | |

* – для робочої напруги 150 … 250В;

** – для робочої напруги 125 … 250В.

Imax – максимально допустиме значення струму витоку;

Rmin – мінімальний допустимий опір ізоляції;

Umin – мінімальне значення випробувальної напруги при випробуваннях на електричну міцність;

‘min – мінімальний шлях струму;

’’ min – мінімально допустимий повітряний зазор.

### 3.2.1 Техніка безпеки при експлуатації електричних установок в лабораторії

Наявність в лабораторії шкідливих і небезпечних чинників застосовує проведення заходів щодо їх усунення, або зменшення до безпечних для життя і здоров'я величин.

Захисне заземлення застосовує для зниження напруга відносно землі до безпечної величини на металевих корпусах електроустановок, що нормально не знаходяться під напругою але що виявилися під таким в результаті пошкодження ізоляції.

Оскільки на ділянці проведення роботи в лабораторії застосовується устаткування до 1000 В, опір заземлення має бути не вище 4 Ом [12]. Приміщення відноситься до приміщень без підвищеної небезпеки. Клас по ПВЕ В – 1а.

### 3.2.2 Електроустаткування

Для досліджень вибрано електроустаткування, що не перевищує 1000 В, живлення здійснюється від двофазної мережі струму частотою 50 Гц, напруга 220 В з глухо-заземленою нетраллю. Все устаткування є стандартним і відповідає нормам СНіП11-2-80. Електроприлади, згідно ПВЕ, мають бути надійно заземлені. Допустимий опір заземлюючого системи 4 Ом. Також передбачається наявність автоматичних пристроїв відключення при коротких замиканнях або перевищення сили струму в колі.

### 3.2.3 Створення оптимальних умов праці в лабораторії травлення печатних плат

При моделюванні сонячного трекера підвищеної чутливості, одним з етапів виготовлення макету було травлення печатних плат для подальшої збірки електронної частини експериментального макету. Розглянемо умови праці і можливі шкідливі чинники, які можуть виникнути при роботі на ділянці травлення печатних плат.

1. Освітлення – недостатнє освітлення викликає зменшення продуктивності праці, підсилює стомлюваність, збільшує кількість помилкових дій, що можуть привести до браку або нещасного випадку, також може розвинутися короткозорість. Для недопущення виникнення цих чинників на ділянці травлення печатних плат застосовується комбінована система – природне і штучне освітлення.

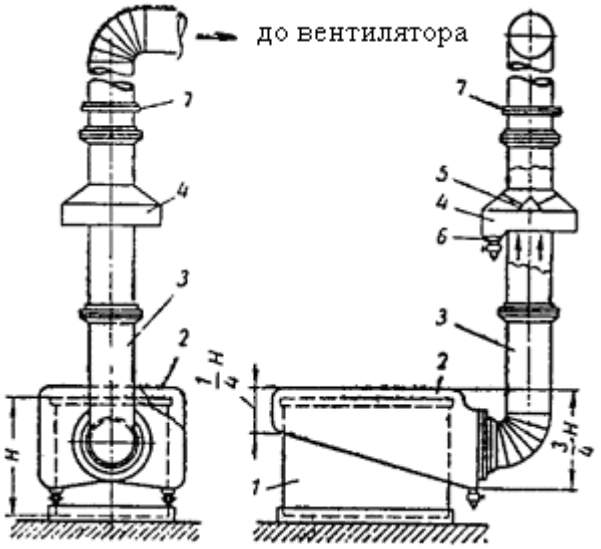
2. Мікроклімат – відхилення окремих параметрів мікроклімату від рекомендованих значень знижують працездатність, погіршують самопочуття, і можуть привести до професійних захворювань. Так, при низькій температурі повітря відбувається охолоджування організму, що сприяє виникненню простудних захворювань. При високій температурі виникає перегрів організму, що веде до підвищеного потовиділення і зниження працездатності. Працівник втрачає увагу, що може стати причиною нещасного випадку. Підвищена вологість повітря утрудняє випар вологи з поверхні шкіри і легенів, що веде до порушення терморегуляції організму, і до погіршення стану людини і зниження працездатності. При зниженій відносній вологості у людини з'являється відчуття сухості слизистих оболонок верхніх дихальних доріг. Швидкість руху повітря також має важливе значення, при температурі до 35…36 ºС надає на людину освіжаючу дію, а при температурі більше 40 ºС – несприятливе. По характеру виконувана на ділянці робота відноситься до легкої фізичної категорії 1б (виробляється сидячи, стоячи або пов'язана з ходьбою і супроводиться деякою фізичною напругою). У приміщенні де виробляються роботи такої категорії, встановлені наступні нормовані значення мікрокліматичних умов [13]:

- температура повітря в холодний період року 23…25ºС;
- відносна вологість 40…60 %;
- температура повітря в теплий період роки 22…24 ºС;
- швидкість руху повітря не більше 0,2 м/с.

3. Виділення шкідливих речовин – при роботі на ділянці травлення печатних плат виділяється велика кількість шкідливих речовин. Травлення від-

бувається в розчині соляної кислоти. Температура розчину складає 60…70 ºС. Прі цьому виділяються хлорид міді $CuCl_2$, водень $H_2$, можливе виділення хлору $Cl_2$. Водень при змішуванні з атмосферним киснем утворює вибухонебезпечну суміш. Хлор відноситься до другого класу небезпеки (високонебезпечні речовини), його нормована гранично допустима концентрація в повітрі робочої зони складає 1 мг/м$^3$ [13]. Він може викликати важкі отруєння із смертельним результатом. Для захисту від дії на людину шкідливих речовин необхідне вживання не лише загальної, але і місцевої вентиляції.

Для ефективного відведення забрудненого повітря від ділянки травлення печатних плат застосуємо двобортні відсмоктувачі, розташовані біля кожної з чотирьох ванн травлення печатних плат. Ванни мають однакові розміри 500×200 мм. Схема двобортного відсмоктувача приведена на рисунку 3.2.




1 – корпус ванни; 2 – кожух бортового відсмоктування: 3 – витяжний воздухопровід; 4 – збірка для уловлювання розчину; 5 – конус в збірці; 6 – видалення конденсату: 7 – заслінка.

Рисунок 3.2 - Схема двостороннього бортового відсмоктування

Кількість повітря L (м$^3$/час), що видаляється одним двобортним відсмоктувчем, визначається по формулі [13]:

$$L = 1400 \cdot (0{,}53 \cdot B \cdot l / (B + l + H)\ 1/3 \cdot B \cdot L \cdot \alpha \cdot \beta \cdot k\Delta T,$$

де В – розрахункова ширина ванни, м; L – довжина ванни, м; Н – відстань від дзеркала електроліту до осі щілини, м (по конструктивних міркуваннях приймаємо 100 мм); α - коефіцієнт обліку конструкції відсмоктувача, що приймається рівним 1 для двобортного відсмоктувача; β – коефіцієнт обліку токсичності шкідливих речовин, що виділяються, приймається рівним 1,25; kΔT - коефіцієнт обліку температури електроліту, при різниці температур електроліту і довколишнього повітря в 50ºС приймається рівним 1,79.

Остаточно, маємо:

$$L = 1400(0{,}53 \cdot 0{,}5 \cdot 0{,}2 / (0{,}5 + 0{,}2) + 0{,}1)1/3 \cdot 0{,}5 \cdot 0{,}2 \cdot 1{,}79 \cdot 1{,}25 \cdot 1 = 175 \ (м^3/ч)$$

Загальна кількість повітря, що видаляється, $м^3/ч$, рівна:

$$L_{общ} = L \cdot n,$$

де n – кількість двобортних відсмоктувань.

$$L_{общ} = 175 \cdot 8 = 1400 \ м^3/ч$$

Заходи безпеки при роботі з ваннами для травлення печатних плат і травильними розчинами:

- вентиляція в лабораторії включається до початку робіт, а вимикається лише після їх закінчення;

- категорично забороняється робота з несправною вентиляцією, оскільки хлор, що в цьому випадку виділяється, може викликати отруєння людей, а водень створює з атмосферним киснем вибухонебезпечну суміш;

- всі роботи виробляються в гумових рукавичках і скляних окулярах щоб уникнути попадання травильного розчину на шкіру і в очі;

- в разі попадання розчину в очі або на шкіру, пошкоджені ділянки тіла необхідно промити водою протягом 15…20 хвилин і звернутися до лікаря;

- ємності з травильним розчином зберігаються в щільно закупорених ємкостях в місцях, що виключають їх можливе пошкодження;

- всі працівники зобов'язані знати техніку безпеки і міри надання першій допомозі хлором, що постраждав при отруєннях, і іншими хімічними речовинами, а також при поразці електричним струмом.

### 3.2.4 Природне та штучне освітлення

При виробництві якість продукту залежить від освітлення, тому на робочій ділянці має бути передбачене штучне освітлення.

Недостатнє освітлення викликає зменшення продуктивності праці, підсилює стомлюваність, збільшує кількість помилкових дій, які можуть привести до браку або нещасного випадку, також може розвинутися короткозорість. Для недопущення виникнення цих чинників на ділянці застосовується комбінована система – природне і штучне освітлення.

Зорова робота характеризується найвищою точністю, що відповідає першому розряду; для загального штучного освітлення норма освітленості складе 400 лк; при природному бічному освітленні КЕОєн = 3,5 %. Оскільки виробництво не є пожежовибухонебезпечним, в лабораторії застосовують лампи розжарювання з робочою напругою 220 В. Це дає можливість рівномірно освітити всю лабораторію. Залежно від класу приміщення по вибухонебезпеці і від чистоти середовища виробничих приміщень, визначається схема розташування світильників, їх марка і конструктивного виконання.

Для освітленості приміщення з розмірами А = 8,5 м, В = 5,9 м та висотою Н = 3,5 м використовуються 6 світильників з чотирма лампами розжарювання. Коефіцієнти віддзеркалення світлового потоку від стелі, стін і підлоги відповідно рівні $p_{\text{ñòåë}} = 70\%$, $p_{\text{ñò}} = 50\%$, $p_{\text{ïîë}} = 10\%$. Затінювання робочих місць немає. Висота світильника $h_c = 0{,}9$ м, висота робочої поверхні над рівнем підлоги $h_p = 0{,}8$ м. Нормативна величина освітленості робочих місць з відеоплейними терміналами складає $E_í = 300...500$ лк. В даному приміщенні освітленість 350 … 500 лк.

## 3.3 Протипожежна та техногенна безпека

Виробництво схем на мікромодульних елементах, згідно ДБН В.1.1–7–2002 [13], відноситься до категорії Б, оскільки це виробництво зв'язане із за-

стосуванням трихлоретилену і аміаку з температурою спалаху парів від 28 °С до 61°С. Для зниження пожежної небезпеки використовують строго обмежену кількість (0,5 л) матеріалів, що зберігаються, здатних горіти, створюють перешкоди для виникнення пожеж; попередження можливості руйнування виробничих пристроїв.

Характерними причинами виникнення пожеж в лабораторії є необережне поводження з вогнем, порушення технологічних процесів, неправильні електропроводки і устаткування, неправильне користування електричними приладами і ін. Для лабораторії встановлена категорія пожежної небезпеки В.

Основні будівельні конструкції будівлі, в якій знаходиться ділянка, виконані з тих, що не згорають і важко згорають матеріалів, що цегельних і виштукатурюють. Отже, вогнестійкість будівлі має 2 рівень. Для евакуації людей на випадок пожежі, згідно ДБН В.1.1–7–2002, в лабораторії є два евакуаційні виходи, розташованих в протилежних кінцях приміщення ділянки. Ширина дверей і сходів рівна 1,6 м, що відповідає нормі.

Відстань від найбільш видаленого робочого місця до найближчого виходу – 15 м. Швидкість пересування людей при евакуації – 16 м/мін [14].

Згідно правилами влаштування електроустановок ПВЕ, будівля, в якій знаходиться ділянка по заходах захисту від блискавок, відноситься до категорії 3 і захищається від прямих ударів блискавок, і від замету високих потенціалів через землю, тобто підземні металеві комунікації приєднуються при введенні в об'єкт, що захищається, до заземлювачів електроустаткування. Отже, грозозахист заснований на стержневих громовідводах.

Для попередження пожеж на ділянці необхідно створити строгий протипожежний режим. Створюється загально об'єктова і лабораторна інструкція по ПБ, проводиться первинний протипожежний інструктаж на робочому місці; створюється план протипожежних заходів і евакуації людей на випадок пожежі.

Як вогнегасні речовини можна застосовувати воду, вуглекислоту, хімічну і повітряно-механічну піну. Для гасіння вогнищ усередині будівлі на

майданчиках сходових кліток, в коридорах і отворі встановлюють пожежні крани, які розміщені в шафах, де знаходиться і рукав з протипожежним стволом. Для гасіння пожеж електроустановок використовується вуглекислий вогнегасник ОУ-2, в кількості двох вогнегасників на приміщення. Існує пожежна електрична сигналізація, яка забезпечує прямий зв'язок пожежної охорони з охоронним об'єктом. У даній будівлі застосовують звукову систему сигналізації. При появі сигналу сповіщення про пожежу співробітники лабораторії № 216 організовано без паніки покидають лабораторію і, залежно від місця спалаху, слідують або вліво через лабораторний корпус для виходу на вулицю Добролюбова, або управо для виходу на вулицю Незалежної України (рис. 3.3).

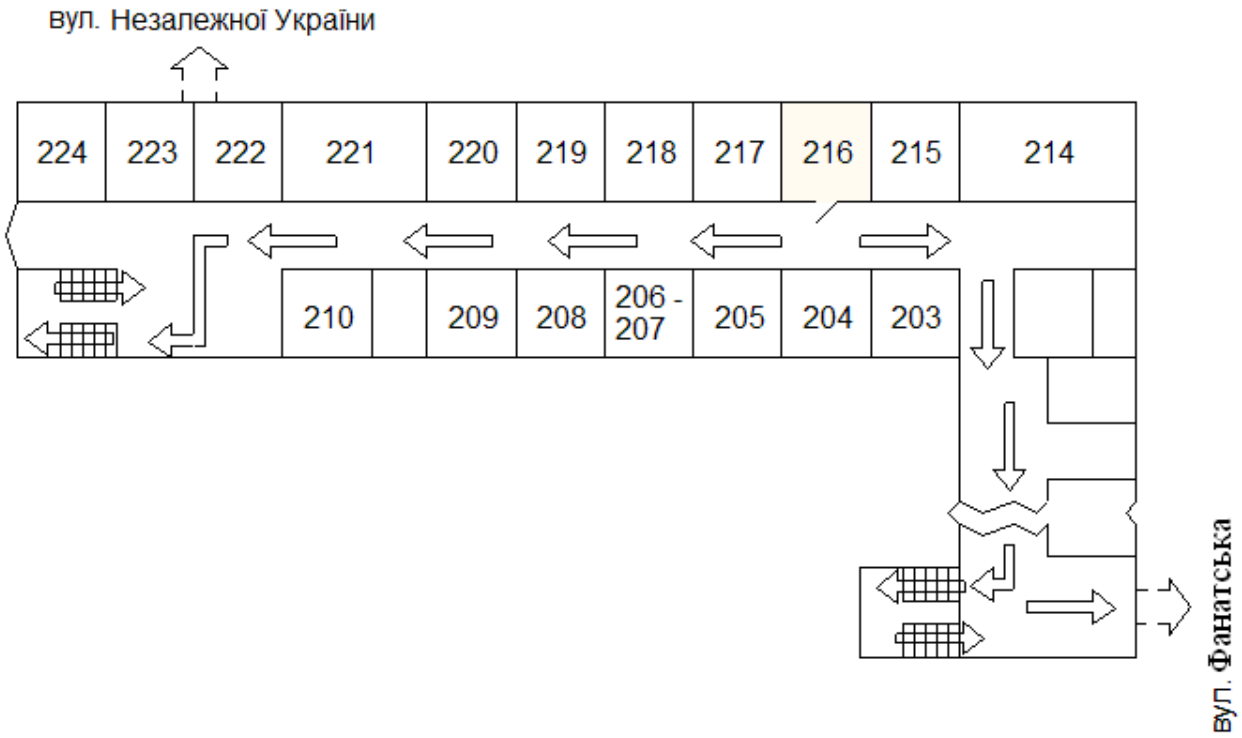



Рисунок 3.3 – План евакуації при пожежі із аудиторії № 216

# Висновки та рекомендації

1. Розроблена конструкція світлочутливої матриці з використанням чотирьох фото транзисторів забезпечує отримання трекером сигналів позиціювання прийомних панелей на сонце з більшою ефективністю в зрівнянні з існуючими аналогами.

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

3. Автономне живлення дозволяє функціонувати трекеру незалежно від зовнішніх мереж.

4. Аналіз функціонування схеми електричної трекера дозволяє переконатися в правильності перемикання сигналів, що управляють направленням обертання електродвигунів.

Рекомендується використовувати розроблену схему та конструкцію трекера в промислових та побутових приладах перетворення сонячної енергії.

Перелік джерел

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

6. 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.

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

8. Верьовкін Л.Л. Світанько М.В., Кісельов Є.М. Хрипко С.Л. Цифрова схемотехніка: Підручник. – Запоріжжя, 2016. – 214 с.

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

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

11. 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.

12. 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.

13. Ткачук К.Н. Охрана труда и окружающей среды в радиоэлектронной промышленности. – К.: Вища шк., 1988. - 240 с.

14. Горобец А.И., Степаненко А.И. Охрана труда в радиоэлектронной промышленности. – К.: Техника, 1987. – 345 с.