

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Інженерний навчально-науковий інститут ім. Ю. М. Потебні
Кафедра електроніки, інформаційних систем та програмного
забезпечення

Пояснювальна записка

до кваліфікаційної роботи

рівень вищої освіти перший бакалаврський
(другий магістерський рівень)

на тему Розробка схеми контролю руху електромеханічної системи

Виконав: студент (ка) IV курсу, групи 6.1539-з

Забайта О. П.

(прізвище та ініціали)

(підпис)

Напряму підготовки _____
(шифр)

Спеціальності 153

Мікро- та наносистемна техніка

(назва)

Керівник доцент, доцент, к.т.н.

Ніконова А. О.

(посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)

Рецензент _____

(посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)

м. Запоріжжя - 2024 рік

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
Інженерний навчально-науковий інститут ім. Ю. М. Потебні

Рівень вищої освіти _____ перший бакалаврський _____
(перший (бакалаврський) рівень, другий (магістерський) рівень)
Напрямок підготовки _____ 153 _____
(шифр)
Спеціальність _____ Мікро- та наносистемна техніка _____
(назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри _____ ЕІСПЗ _____
Критська Т.В.

“ 27 ” травня 20 24 року

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

- _____ Забаишта Олексій Петрович _____
(прізвище, ім'я, по батькові)
1. Тема проекту (роботи) _____ Розробка схеми контролю руху електромеханічної системи _____
- керівник проекту (роботи) _____ Ніконова Аліна Олександрівна, к.т.н., доцент _____
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)
- затверджені наказом вищого навчального закладу від “26” грудня 2023 року №2212-с
2. Строк подання студентом проекту (роботи) _____ 10 червня 2024 року _____
3. Вихідні дані до проекту (роботи) _____ Пристрої позиціювання, руху та переміщення електромеханічних систем _____
4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити): _____ Аналіз методів і приладів контролю руху електромеханічних систем. Розробка схеми контролю руху електромеханічної системи позиціювання сонячного модуля. Охорона праці та техногенна безпека. _____
5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень) _____ Структурна схема реєстратора низькочастотних процесів. Схема реєстратора низькочастотних процесів. Схема пристрою для оперативного контролю частоти пульсу. Аналіз функціонування компаратора. _____

6. Консультанти розділів проекту (роботи)

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата
		завдання прийняв
<i>I</i>	<i>Ніконова А. О., доцент</i>	
<i>II</i>	<i>Ніконова А. О., доцент</i>	
<i>III</i>	<i>Ніконова А. О., доцент</i>	

7. Дата видачі завдання 27.12.2023 року

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного проекту (роботи)	Строк виконання етапів проекту (роботи)	Примітка
<i>1</i>	<i>Дослідження призначення і області застосування слідкуючих електроприводів</i>	<i>18.02.2024</i>	
<i>2</i>	<i>Розрахунок приходу прямого сонячного випромінювання на довільно нахилені приймальні майданчики</i>	<i>10.03.2024</i>	
<i>3</i>	<i>Аналіз принципу функціонування пристрою контролю руху фотовольтаїчних електромеханічних систем</i>	<i>18.03.2024</i>	
<i>4</i>	<i>Розробка схеми цифрового генератора тактових імпульсів</i>	<i>14.04.2024</i>	
<i>5</i>	<i>Розрахунок пристрою контролю руху електромеханічної системи стеження за сонцем</i>	<i>27.04.2024</i>	
<i>6</i>	<i>Охорона праці та техногенна безпека</i>	<i>18.05.2024</i>	
<i>7</i>	<i>Оформлення пояснювальної записки</i>	<i>22.05.2024</i>	
<i>8</i>	<i>Рецензування, нормоконтроль, підписання роботи</i>	<i>25.05.2024</i>	
<i>9</i>	<i>Оприлюднений захист магістерської роботи</i>	<i>31.05.2024</i>	

Студент

(підпис)

Забашта О. П.

(прізвище та ініціали)

Керівник проекту (роботи)

(підпис)

Ніконова А. О.

(прізвище та ініціали)

Нормоконтроль пройдено

(підпис)

Верьовкін Л. Л.

(прізвище та ініціали)

Реферат

Дипломна робота містить 63 сторінки, 30 рисунків, 2 таблиці, 10 джерел літератури.

Об'єкт дослідження – методи і прилади контролю руху фотовольтаїчних електромеханічних систем.

Мета роботи - розробка схеми контролю руху електромеханічної системи стеження за сонцем.

Завдання роботи - розробка схеми контролю руху електромеханічної системи; розробка топології печатної плати; проведення аналізу функціонування пристрою контролю руху електромеханічної системи стеження за сонцем.

Дослідження проводились методами комп'ютерного моделювання електричної схеми та зняттям характеристик за допомогою програмного забезпечення.

Актуальність теми полягає у підвищенні рівня енергетичної ефективності автономної фотоелектричної енергоустановки за рахунок зменшення витрат енергії.

В роботі виконано схемотехнічне і топологічне моделювання пристрою для контролю руху фотовольтаїчних електромеханічних систем.

Пропонується доробка схеми приладу для його подальшого дослідження і удосконалення методики керування рухом електромеханічних фотовольтаїчних систем.

КОНТРОЛЬ, РУХ, ТРЕКЕР, ТОПОЛОГІЯ, ПРИСТРІЙ, ГЕНЕРАТОР, КОМПАРАТОР, ІМПУЛЬС

Дипломну роботу виконано на кафедрі електроніки, інформаційних систем та програмного забезпечення з 12.02.2024 р. по 10.05.2024 р.

Зміст

	Стор.
Вступ	6
1. Аналіз методів і приладів контролю руху фотовольтаїчних електро- механічних систем.....	8
1.1 Призначення і область застосування слідкуючих електроприводів ...	8
1.2 Розрахунок приходу прямого сонячного випромінювання на довіль- но нахилені приймальні майданчики	10
1.3 Аналіз принципу функціонування пристрою контролю руху фотово- льтаїчних електромеханічних систем	16
1.4 Вимоги до електронної схеми контролю руху електромеханічної си- стеми стеження за сонцем	21
1.5 Вимоги до конструкції пристрою контролю руху електромеханічної системи стеження за сонцем	24
2 Розробка схеми контролю руху електромеханічної системи стеження за сонцем	27
2.1 Аналіз схеми цифрового генератора тактових імпульсів	28
2.2 Аналіз схеми інтегруючого кола	32
2.3 Аналіз функціонування компаратора	
2.4 Функціонування пристрою контролю руху електромеханічної сис- теми стеження за сонцем	44
3. Охорона праці та техногенна безпека	50
3.1 Характеристика потенційних небезпечних та шкідливих виробничих факторів.....	50
3.2 Заходи зі зменшення впливу небезпечних та шкідливих виробничих факторів	52
3.3 Виробнича санітарія	53
3.4 Електробезпека	58

	5
3.5 Пожежна безпека	59
Висновки та рекомендації	62
Перелік посилань	63

Вступ

Автоматизованою електромеханічною системою заведено називати сукупність електротехнічних, електромеханічних, механічних перетворювачів енергій і системи керування.

Системи керування електромеханічними системами забезпечують узгодження процесів перетворення енергій з метою одержання заданою технологією параметрів руху об'єкта керування.

В статичних режимах роботи електромеханічних систем обертальні моменти регулювати неможливо, тому що вони врівноважені статичними моментами опору, жорстко обумовленими технологією. Можна регулювати тільки динамічні моменти за рахунок регулювання прискорень.

Автоматизована електромеханічна система включає автоматизований електропривід і об'єкт керування, наприклад, механізм автоматизованої системи керування, яка забезпечує за рахунок стеження за Сонцем максимальну енергетичну ефективність сонячних батарей при мінімізації енергоспоживання і управління при врахуванні збурюючих впливів, в тому числі вітрового навантаження.

Тому забезпечення системою керування електроприводом заданих параметрів руху об'єкта керування дає можливість одержати необхідні показники підвищення рівня енергетичної ефективності технологічного процесу виробництва електричної енергії автономною фотоелектричною енергоустановкою.

Властивості систем керування в значній мірі залежать від практичного виконання елементів, які реалізують алгоритми керування, тому системи керування електроприводами поділяють на: дискретні системи керування (релейно-контакторні й безконтактні); аналогові системи керування; цифрові системи керування.

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.

Актуальним являється підвищення рівня енергетичної ефективності автономної фотоелектричної енергоустановки за рахунок зменшення витрат енергії, шляхом реалізації автоматизованої системи керування з автоматичним стеженням сонячної батареї за Сонцем, зменшуючи споживану енергію електромеханічними виконавчими механізмами системи стеження.

1 Аналіз методів і приладів контролю руху фотовольтаїчних електромеханічних систем

Алгоритми контролю та керування руху цифрових електромеханічних систем засновані на обробці і формуванні цифрових (кодових) керуючих сигналів [1].

Цифрові системи керування через те, що в них фізично оброблювана інформація являє собою послідовні в часі кодові сукупності імпульсів, називають імпульсними системами керування. Алгоритми керування реалізуються за допомогою контролерів або різної обчислювальної здатності комп'ютерів.

Алгоритми керування всіх електромеханічних систем залежать також від типу електротехнічного перетворювача (електромагнітного, тиристорного або транзисторного) і від типу електромеханічного перетворювача енергії (двигуна), прийнятих структур систем автоматичного регулювання [1].

Схема будь-якого електропривода поділяється на дві частини:

- силову схему;
- схему керування.

У силових принципових схемах відображаються з'єднання за допомогою комутаційних апаратів силових обмоток електродвигунів з живильною мережею, а також з пускорегулюючими й гальмовими опорами.

Принципові електричні схеми керування являють з'єднання електричних апаратів керування, які забезпечують задані технологіями алгоритми керування.

1.1 Призначення і область застосування слідкуючих електроприводів

Слідкуючі електроприводи або системи управління положенням представляють собою замкнуті електроприводи, керуючі переміщенням і забезпе-

чуючи стабілізацію положення об'єкта регулювання відносно деякої базової системи координат [2].

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.

Фотовольтаїчні електромеханічні системи бувають двох видів:

- з однією віссю (полярні засоби стеження, горизонтальні засоби стеження);
- з двома вісями (активні засоби стеження або пасивні засоби стеження).

Слідкуючі системи з однією віссю переміщуються лише в один кут. Таким чином, сонце перпендикулярне модулю лише в одній площині. Кращі умови для систем стеження з однією віссю досягаються, якщо вісь паралельна вісі землі. Аби підтримувати точність, ці сонячні системи стеження регулюються уручну, аби компенсувати сезонні екліптичні зрушення, які відбуваються восени, зимою, весною і літом [3].

У слідкуючих системах з двома вісями, сонце завжди перпендикулярно батареї. Ці типи засобів стеження використовують двигуни, для управління переміщеннями, за допомогою програмованих контролерів, мікропроцесорів, або контролюючих пристроїв GPS. Вони забезпечують точне стеження сонячного переміщення. Програми в межах блоку управління використовують комбінацію сонячних алгоритмів переміщення, які регулюють обертальне переміщення вісі в напрямках, які постійно підтримують мінімальний кут косинуса протягом всіх сезонів.

Обертальний механізм пасивного засобу стеження заснований на використанні низько киплячих стислих газів, які переміщуються або зміщуються з східної на західну сторону сонячного засобу стеження сонячним теплом, яке

перетворить рідину в газ, заставляючи сонячний засіб стеження нахилитися з одного боку на інший.

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

1.2 Розрахунок приходу прямого сонячного випромінювання на довільно нахилені приймальні майданчики

Сонячна енергія поширюється в космосі у вигляді так званого прямого направленої потоку сонячного випромінювання (СВ), що характеризується собою у вигляді прямої лінії, що зв'язує собою Сонце (джерело СВ) і приймальний майданчик СВ [2]. З причини наявності атмосфери і поверхні Землі на довільно-орієнтований приймальний майданчик СВ поступає вже у вигляді трьох потоків сонячної енергії: прямого $R_{\text{пр}}(t)$, дифузного або розсіяного $R_{\text{д}}(t)$ і відбитого $R_{\text{від}}(t)$ від поверхні Землі (рис.1.1), тобто сумарний потік СВ на приймальний майданчик $R_{\Sigma}(t)$ на поверхні Землі буде в кожен момент часу t складатися як:

$$R_{\Sigma}(t) = R_{\text{пр}}(t) + R_{\text{д}}(t) + R_{\text{від}}(t). \quad (1.1)$$

У (1.1) $R_{\text{пр}}(t)$ – пряме СВ, таке, що реалізовується у вигляді направленої потоку СВ уздовж прямої лінії, що зв'язує собою Сонце і приймальний майданчик СВ на землі; $R_{\text{д}}(t)$ – дифузне СВ, таке, що реалізовується за рахунок направленої СВ, розсіяного в атмосфері землі хмарами, аерозолями, пилом і т.д.; $R_{\text{від}}(t)$ – відбита від поверхні землі частина направленої СВ.

З трьох складових сонячного випромінювання на Землі ($R_{\text{пр}}$, $R_{\text{д}}$, $R_{\text{від}}$) у сонячній енергетиці найбільше значення має пряме сонячне випромінювання

$R_{np}(t)$ як для горизонтальних, так і довільно нахилених приймальних майданчиків.

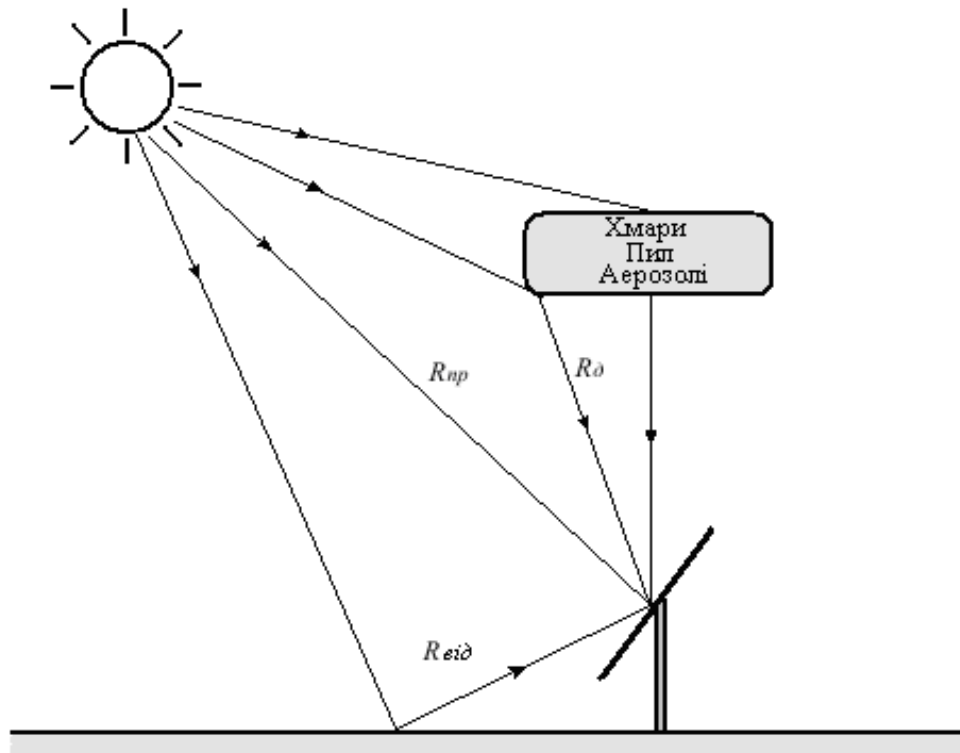


Рисунок 1.1 – Основні складові сонячного випромінювання на поверхні Землі

Якщо для приймального майданчика в космосі $R_{\Sigma}(t)$ визначаються лише за рахунок направленої СВ (тобто $R_{np}(t)$), то на поверхні Землі $R_{\Sigma}(t)$ залежить від багатьох чинників, і, в першу чергу, від геометричного розташування приймального майданчика відносно Сонця. На рисунку 1.2 представлений довільно-орієнтований нахилений на південь плоский приймальний майданчик, розташований на поверхні землі в точці A з координатами φ_A° , градусів північної широти; ψ_A° , градусів східної довготи.

Основні позначення на рисунку 1.2: S - горизонтальний майданчик на землі з точкою $A(\varphi_A^\circ, \psi_A^\circ)$, де розташований довільно-орієнтований плоский приймальний майданчик F , нахилений на Південь під кутом β° , OO – лінія перетину площин F і S ; $AD \in S$ і $AD \perp OO$, $AC \in F$ і $AC \perp OO$, $AE \perp F$, $AB \in S$, G – сонце, $AH \in S$ і є проекцією AG на S [2].

Потужність потоку прямого сонячного випромінювання на довільно орієнтований приймальний майданчик площею F (м^2) на Землі у будь-який момент часу ($R_F(t)$) визначається наступним співвідношенням:

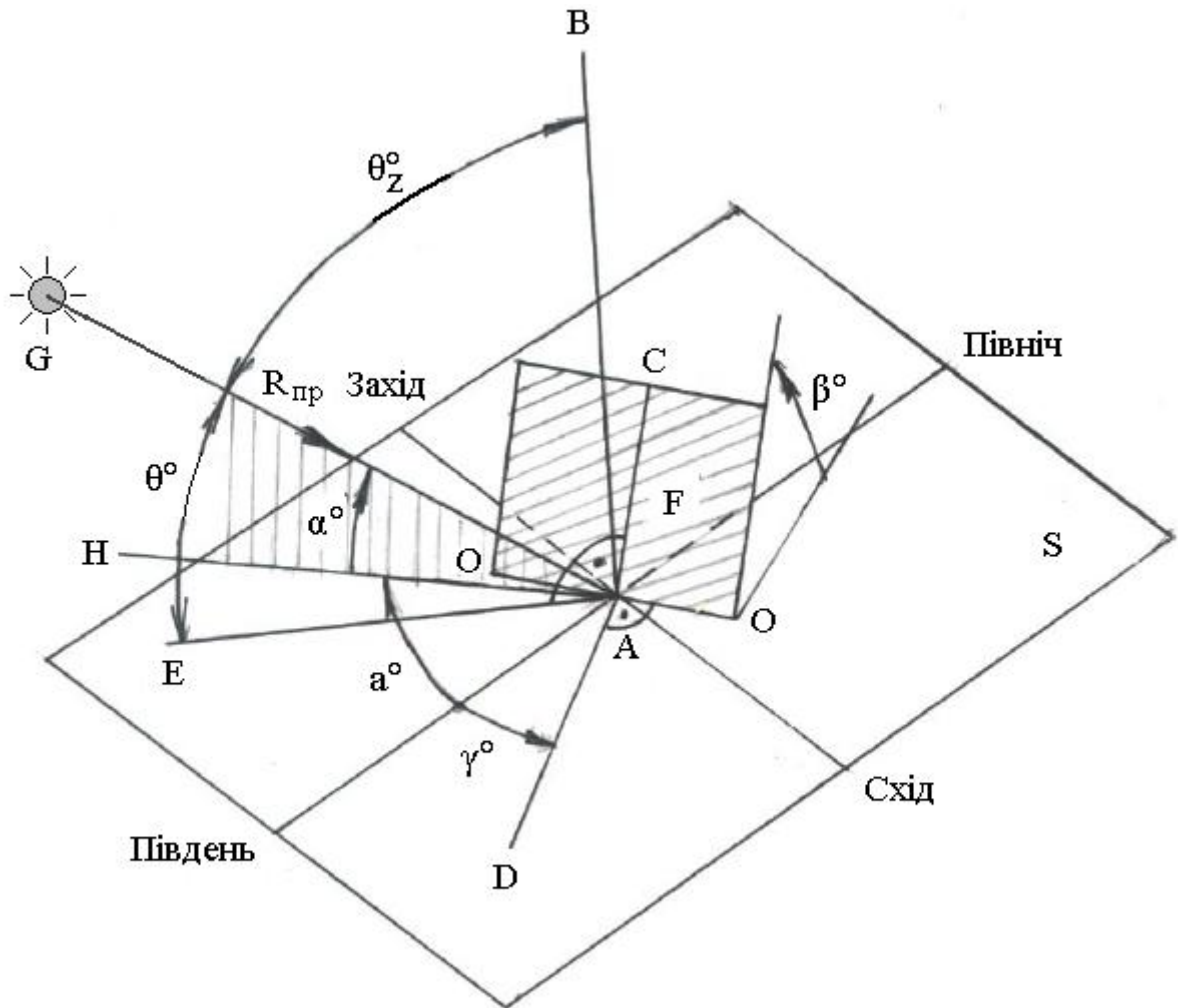


Рисунок 1.2 – Геометрія Сонця і приймального майданчика на Землі

$$R_F(t) = R_m(t) \cdot \cos \theta^\circ(t), \quad (1.2)$$

де $R_m(t)$ - потужність потоку прямого сонячного випромінювання на поверхні Землі на приймальний майданчик, перпендикулярний $R_m(t)$ при оптичній масі атмосфери m .

$\theta^\circ(t)$ можна розрахувати по формулі:

$$\cos \theta^\circ(t) = \cos \beta^\circ(t) \cdot \sin \alpha^\circ(t) + \sin \beta^\circ(t) \cdot \cos \alpha^\circ(t) \cdot \cos(a^\circ(t) - \gamma^\circ(t)), \quad (1.3)$$

Враховуючи взаємозв'язок $\alpha^\circ(t)$ і $\beta^\circ(t)$ з іншими основними і додатковими кутами для приймального майданчика вираження (1.2) можна представити так:

$$R_F(t) = R_m(t) \cdot (\cos\beta^\circ(t) \cdot (\sin\varphi^\circ \cdot \sin\delta^\circ(t) + \cos\varphi^\circ \cdot \cos\delta^\circ(t) \cdot \cos\omega^\circ(t)) + \sin\beta^\circ(t) \cdot (\cos\gamma^\circ(t) \cdot (\operatorname{tg}\varphi^\circ \cdot (\sin\varphi \cdot \sin\delta^\circ(t) + \cos\varphi^\circ \cdot \cos\delta^\circ(t) \cdot \cos\omega^\circ(t)) - \sin\delta^\circ(t) \cdot \sec\varphi^\circ) + \sin\gamma^\circ(t) \cdot \cos\delta^\circ(t) \cdot \sin\omega^\circ(t)) \quad (1.4)$$

На підставі вираження (1.4) можна визначити і значення $R_F(t)$ для різних характерних окремих випадків розташування приймального майданчика по відношенню до $R_m(t)$:

1. Горизонтальний приймальний майданчик, тобто $\beta^\circ(t) = 0$:

$$R_r(t) = R_m(t) \cdot \sin\alpha^\circ(t) = R_m(t) \cdot (\sin\varphi^\circ \cdot \sin\delta^\circ(t) + \cos\varphi^\circ \cdot \cos\delta^\circ(t) \cdot \cos\omega^\circ(t)) \quad (1.5)$$

2. Вертикальний приймальний майданчик, тобто $\beta^\circ(t) = 90^\circ$; $\gamma^\circ = \gamma^\circ(t)$:

$$R_B(R_m(t) \cdot (\cos\gamma^\circ(t) \cdot (\operatorname{tg}\varphi^\circ \cdot (\sin\varphi^\circ \cdot \sin\delta^\circ(t) + \cos\varphi^\circ \cdot \cos\delta^\circ(t) \cdot \cos\omega^\circ(t)) - \sin\delta^\circ(t) \cdot \sec\varphi^\circ) + \sin\gamma^\circ(t) \cdot \cos\delta^\circ(t) \cdot \sin\omega^\circ(t)) = R_m(t) \cdot \cos\alpha^\circ(t) \cdot \cos(\alpha^\circ(t) - \gamma^\circ(t)) \quad (1.6)$$

Окремими випадками п. 2 є:

3. Вертикальний приймальний майданчик, орієнтований строго на Південь, тобто $\beta^\circ(t) = 90^\circ = \text{const}$; $\gamma^\circ(t) = 0$:

$$R_B^{\text{Південь}}(t) = R_m(t) \cdot \cos\alpha^\circ(t) \cdot \cos\alpha^\circ(t) \quad (1.7)$$

4. Вертикальний приймальний майданчик, орієнтований строго на Захід або Схід, тобто $\gamma^\circ(t) = \pm 90^\circ$:

$$R_B^{3/C}(t) = R_m(t) \cdot \cos\alpha^\circ(t) \cdot \sin\alpha^\circ(t) \quad (1.8)$$

5. Вертикальний приймальний майданчик, орієнтований строго на Північ, тобто $\gamma^\circ(t) = 180^\circ$:

$$R_B^{\text{Північ}}(t) = R_m(t) \cdot (\sin\delta^\circ(t) \cdot \cos\varphi^\circ - \cos\delta^\circ(t) \cdot \sin\varphi^\circ \cdot \cos\omega^\circ(t)), \quad (1.9)$$

з обліком (1.7) і (1.8) вираження (1.6) можна представити так:

$$R_B(t) = R_B^{\text{Південь}}(t) \cdot \cos\gamma^\circ(t) + R_B^{3/C}(t) \cdot \sin\gamma^\circ(t) \quad (1.10)$$

Аналогічно, враховуючи (1.5) і (1.6), значення $R_F(t)$, тобто прихід прямого сонячного випромінювання на довільно розташований приймальний майданчик, можна виразити таким чином:

$$R_F(t) = R_B(t) \cdot \cos\beta^\circ(t) + R_B(t) \cdot \sin\beta^\circ(t) \quad (1.11)$$

Або з обліком (1.11) отримуємо:

$$R_F(t) = R_B(t) \cdot \cos\beta^\circ(t) + (R_B(t) \cdot \cos\gamma^\circ(t) + R_B^{\text{Південь}}(t) \cdot \cos\gamma^\circ + R_B^{C/3} \cdot \sin\gamma^\circ(t)) \cdot \sin\beta^\circ(t) \quad (1.12)$$

Враховуючи (1.12) можна вивести вираження для приходу прямого СВ на нахилені приймальні майданчики строго по всіх основних координатах - Північ, Південь, Захід, Схід. Зокрема:

Нахилений приймальний майданчик, орієнтований строго на Південь, тобто $\gamma^\circ(t) = 0$, $\beta^\circ(t) > 0$ и $\beta^\circ(t) = \text{const}$:

$$R_\beta^{\text{Південь}} = R_\Gamma(t) \cdot \cos\beta^\circ + R_B^{\text{Південь}}(t) \cdot \sin\beta^\circ \quad (1.13)$$

Нахилений приймальний майданчик, орієнтований строго на захід або Схід, тобто $\gamma^\circ(t) = \pm 90^\circ$ и $\beta^\circ(t) > 0$ и $\beta^\circ(t) = \text{const}$:

$$R_\beta^{C/3} = R_\Gamma(t) \cdot \cos\beta^\circ + R_B^{C/3}(t) \cdot \sin\beta^\circ \quad (1.14)$$

Нахилений приймальний майданчик, орієнтований строго на Північ, тобто $\gamma^\circ(t) = 180^\circ$ и $\beta^\circ(t) > 0$ и $\beta^\circ(t) = \text{const}$:

$$R_\beta^{\text{Північ}} = R_\Gamma(t) \cdot \cos\beta^\circ + R_B^{\text{Північ}}(t) \cdot \sin\beta^\circ \quad (1.15)$$

Для опису зміни прямого сонячного випромінювання протягом добового циклу (n_i - доби) зручно перетворити (1.4) до наступного вигляду:

$$R_F(t) = R_m(t) \cdot (A + B \cdot \cos\omega^\circ(t) + C \cdot \sin\omega^\circ(t)), \quad (1.16)$$

де:

$$A = \cos\beta^\circ(t) - \sin\varphi^\circ \cdot \sin\delta^\circ(t) + \sin\beta^\circ(t) \cdot (\cos\gamma^\circ(t) \cdot (\text{tg}\varphi^\circ \cdot (\sin\varphi^\circ \cdot \sin\delta^\circ(t) - \sin\delta^\circ(t) - \sec\varphi^\circ));$$

$$B = \cos\beta^\circ(t) \cdot \cos\varphi^\circ \cdot \sin\delta^\circ(t) + \sin\beta^\circ(t) \cdot \cos\gamma^\circ(t) \cdot \sin\varphi^\circ \cdot \cos\delta^\circ;$$

$$C = \sin\beta^\circ(t) \cdot \cos\delta^\circ(t) - \sin\gamma^\circ(t).$$

З наданих трьох основних показників СВ найпростіше і точно розраховується теоретичне значення тривалості сонячного сяяння в перебігу доби, тобто $T_{cc}^{\circ}(\text{ч})$.

Для горизонтального приймального майданчика можна розрахувати $\cos\theta_z^{\circ}(t)$ по формулі:

$$\begin{aligned} \cos\theta^{\circ}(t) = & \sin\beta^{\circ} \cdot [\cos\delta^{\circ}(t) \cdot \{\sin\varphi^{\circ}_A \cdot \cos\gamma^{\circ} \cdot \cos\omega^{\circ}(t) + \sin\gamma^{\circ} \cdot \sin\omega^{\circ}(t)\} - \\ & - \sin\delta^{\circ}(t) \cdot \cos\varphi^{\circ}_A \cdot \cos\gamma^{\circ}] + \cos\beta^{\circ} \cdot [\cos\delta^{\circ}(t) \cdot \cos\varphi^{\circ}_A \cdot \cos\omega^{\circ}(t) + \sin\delta^{\circ}(t) \cdot \\ & \cdot \sin\varphi^{\circ}_A], \end{aligned} \quad (1.17)$$

для моменту сходу і заходу сонця (відлік йде по середині сонячного диску).

Вочевидь, що в моменти сходу – заходу сонця $\theta_z^{\circ}(t)=90^{\circ}$ або по (1.17):

$$\cos\theta_z^{\circ}(t) = \cos 90^{\circ} = 0 = \cos\omega^{\circ} \cdot \cos\varphi^{\circ} \cdot \cos\delta^{\circ} + \sin\varphi^{\circ} \cdot \sin\delta^{\circ}, \quad (1.18)$$

або позначивши годинний кут заходу-сходу через $\omega^{\circ}_{з/с}$

$$\cos\theta_{з/с} = -\frac{\sin\varphi^{\circ} \cdot \sin\delta^{\circ}}{\cos\varphi^{\circ} \cdot \cos\delta^{\circ}} = \text{tg}\varphi^{\circ} \cdot \text{tg}\delta^{\circ}. \quad (1.19)$$

Тобто
$$\omega^{\circ}_{з/с} = \arccos(-\text{tg}\varphi^{\circ} \cdot \text{tg}\delta^{\circ}) \quad (1.20)$$

За світловий день (T_{cc}°) Сонце проходить два вартових кута, рівних кожен по 90° , тобто $2 \omega^{\circ}_{з/с}$. Враховуючи, що за 1 годину Сонце «переміщається» по своїй орбіті на 15° , отримуємо, що

$$T_{cc}^{\circ}(\text{ч}) \cdot 15^{\circ}/\text{ч} = 2 \cdot \arccos(-\text{tg}\varphi^{\circ} \cdot \text{tg}\delta^{\circ}) \quad (1.21)$$

або остаточно для n_i -дів року отримуємо

$$T_{cc}^{\circ}(\text{ч}) = 2/15 \cdot \arccos(-\text{tg}\varphi^{\circ} \cdot \text{tg}\delta^{\circ}) \quad (1.22)$$

Для доволно - нахиленого приймального майданчика величина тривалості її опромінення сонцем протягом доби, тобто $\omega^{\circ}_{\text{Схід}}$ і $\omega^{\circ}_{\text{Захід}}$, може бути знайдена шляхом вирішення наступного рівняння, визначуваного з (1.16):

$$A + B \cdot \cos\omega^{\circ}(t) + C \cdot \sin\omega^{\circ}(t) = 0. \quad (1.23)$$

З (1.23) можна знайти два корені цього виразу, які і визначають момент початку і кінця сонячного опромінення приймального майданчика [2].

Використовуючи математичне викладення освітленості сонцем довільно розташованого приймального майданчика, можна проаналізувати принцип функціонування пристрою стеження за сонцем.

1.3 Аналіз принципу функціонування пристрою контролю руху фотовольтаїчних електромеханічних систем

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 [5].

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

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 однією похилою віссю обертання. Такими вважаються всі треки з осями обертання між горизонтальною і вертикальною.

Трекери з двома осями обертання мають два ступені свободи, які виступають в якості осей обертання. Як правило, ці осі 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.

За оцінками експертів, ефективність сонячних батарей підвищується до 60% , якщо їх повертати слідом за сонцем з використанням систем спостереження за положенням сонця.

В цілому пристрій стеження за рухом Сонця складається з двох основних частин: схеми управління, яка визначає положення Сонця та механізмів повороту і нахилу батарей в залежності від напрямку сонячних променів.

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. 1.3) 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.

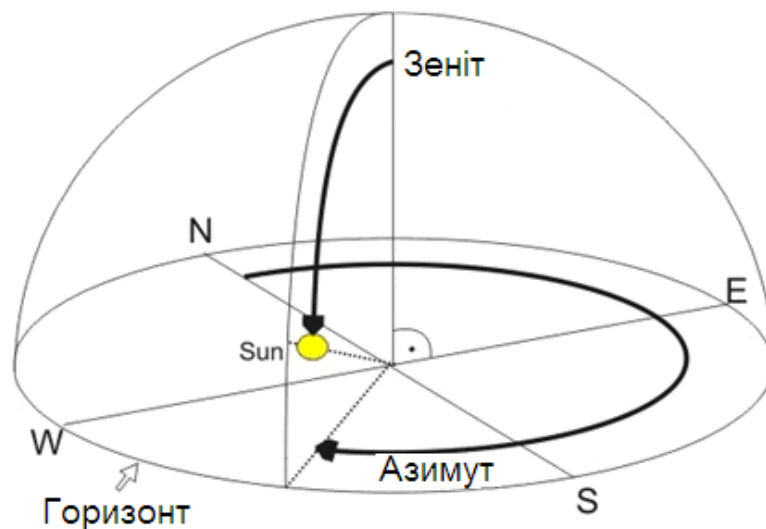


Рисунок 1.3 - Схема визначення положення сонця за азимутом і зенітним кутом

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

Кут нахилу вісі (полярний кут) визначається географічним положенням і відповідає широті місця, в якому змонтовано пристрій. Географічна координата Запоріжжя відповідає 47° південної широти. Тоді вісь слідкуючого пристрою буде повернута на кут 47° до горизонту. На Північному полюсі вона перпендикулярна поверхні Землі (рис. 1.4).

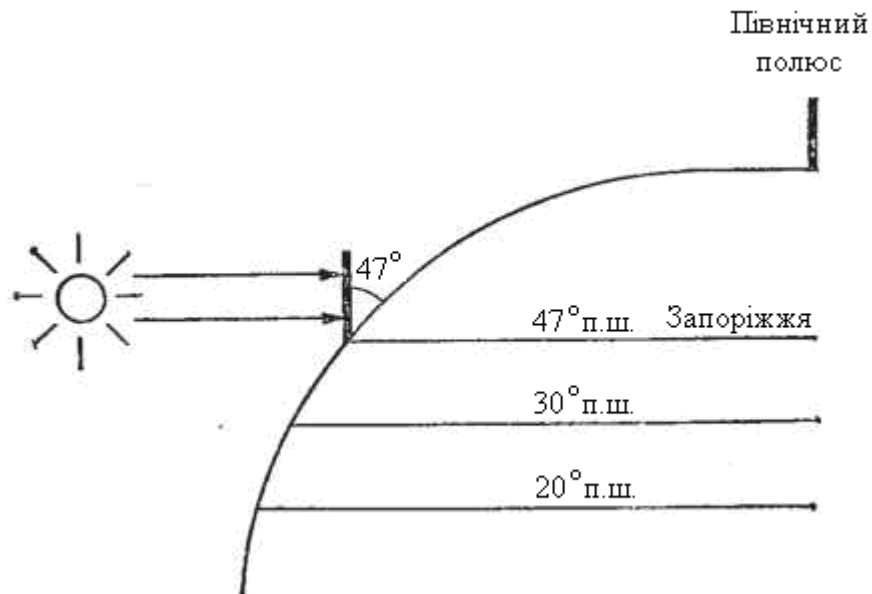


Рисунок 1.4 – Повертання вісі слідкуючого пристрою в залежності від географічної координати

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

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

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

Механізми повороту і нахилу батарей в залежності від напрямку сонячних променів 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 зібрати самостійно для побутової установки з виробництва електроенергії на основі сонячних батарей.

Інформаційна мережа містить не малу кількість готових схем і рішень з систем стеження за Сонцем. Так що, якщо виникла потреба удосконалити конструкцію сонячних батарей і підвищити їх продуктивність, завжди є можливість зробити це самостійно.

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

Сонячна батарея складається з двох панелей, сполучених паралельно (рис. 1.5), що містять по три елементи, які підключені послідовно і розміщені на площинах прозорого пластмасового корпусу.

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

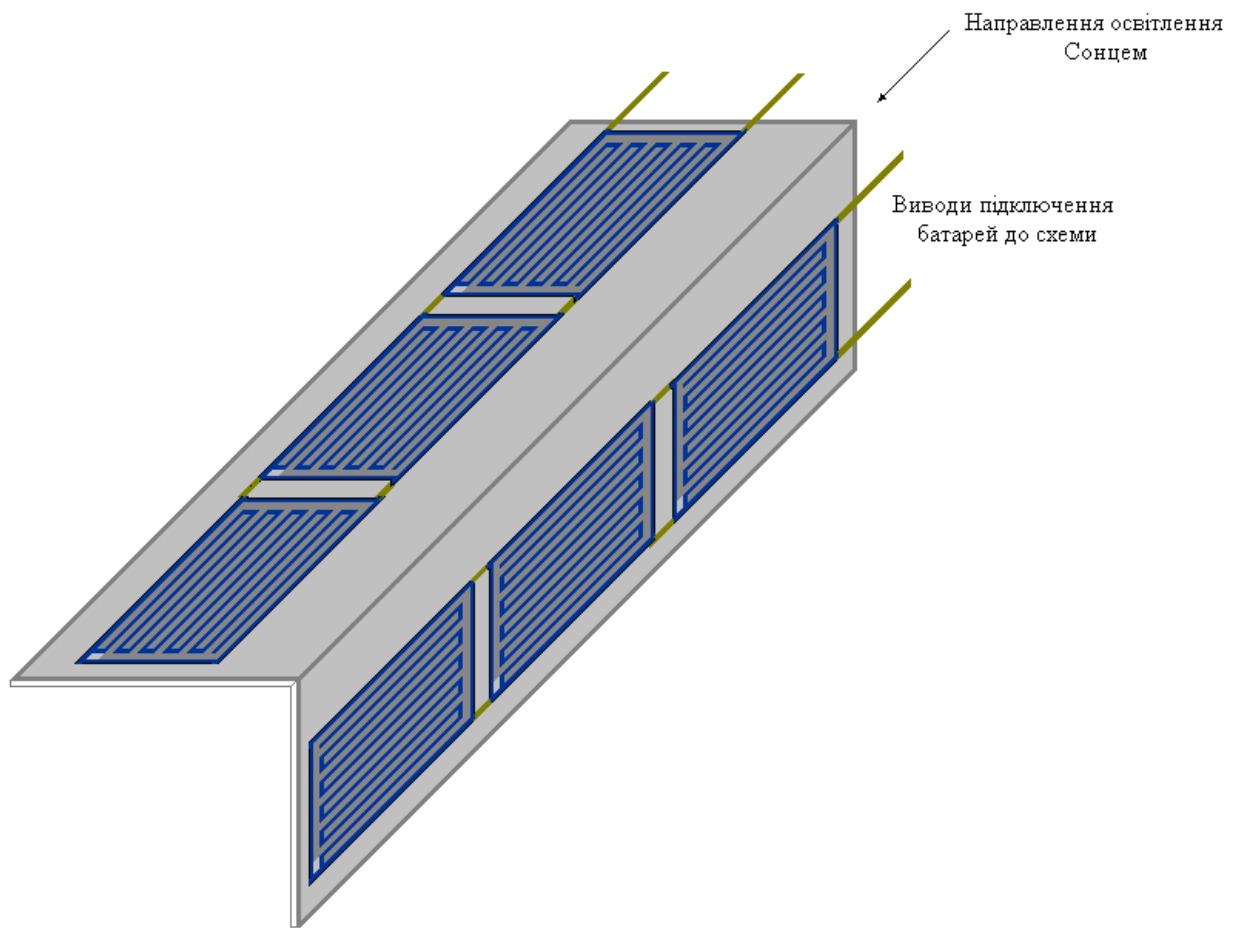


Рисунок 1.5 – Підключення сонячних панелей до схеми

Якщо пристрій розташований так, що бісектриса кута, утвореного панелями, направлена точно на сонце, кожна панель нахилена під кутом 45° до сонця (рис. 1.6) і виробляє електричну енергію.

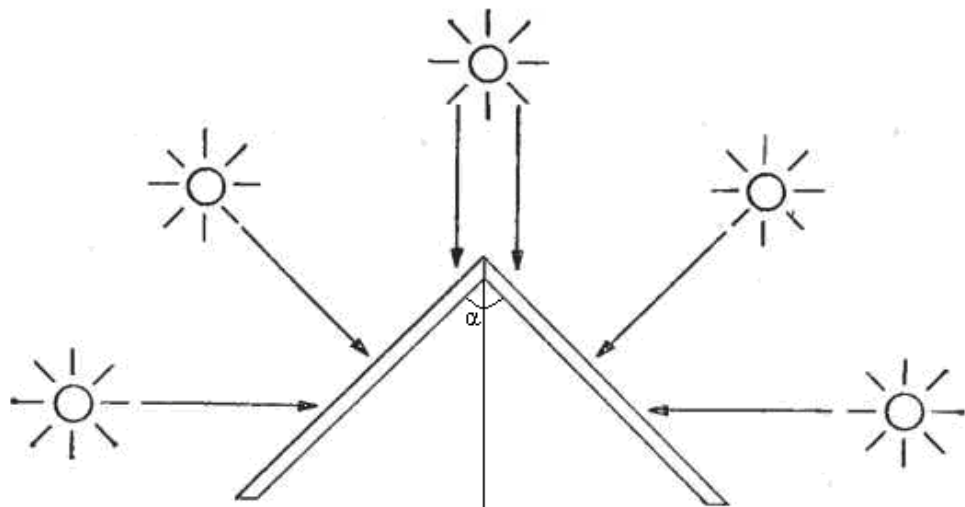


Рисунок 1.6 – Розташування панелей відносно сонця

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

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

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

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

1.4 Вимоги до електронної схеми контролю руху електромеханічної системи стеження за сонцем

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

Проаналізуємо принцип дії електронної схеми, наведеної на рисунку 1.7. Припустимо, що транзистор VT1 знаходиться в стані насичення, а фототранзистор VT2 замкнений. Реле K1 реагує на протікаючий через нього струм. У реле є дротяна котушка, в якій енергія електричного струму перетвориться в енергію магнітного поля. Напруженість поля прямо пропорційна силі струму, протікаючого через котушку. При збільшенні струму настає момент, коли напруженість поля зростає настільки, що якір реле притягується до сердеч-

ника обмотки і контакти реле замикаються. Цьому моменту відповідає так званий поріг спрацьовування реле [4].

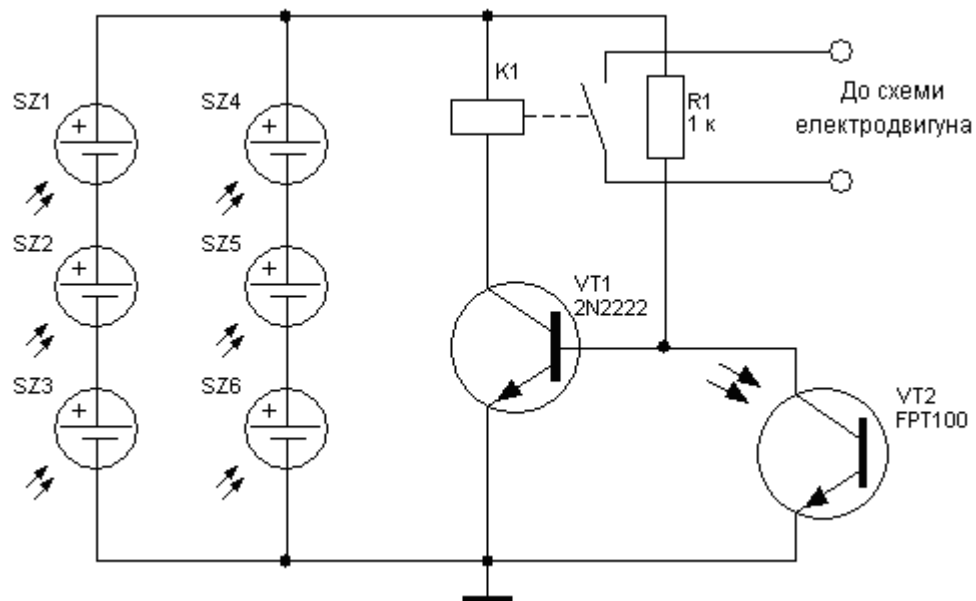


Рисунок 1.7 – Експериментальна схема контролю руху електромеханічної системи стеження за сонцем

При збільшенні струму настає момент, коли напруженість поля зростає настільки, що яркір реле притягується до сердечника обмотки і контакти реле замикаються. Цьому моменту відповідає так званий поріг спрацьовування реле [4].

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

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

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

У колекторному ланцюзі транзистора VT1 включене реле K1. Для спрацювання реле, необхідно відкрити транзистор VT1. Резистором R1 задається струм зсуву, яким відкривається транзистор VT1. Транзистор VT2 представляє фототранзистор, його базова область освітлює світлом. Струм колектора фототранзистора прямо пропорційний інтенсивності світла.

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

У міру збільшення освітлення фототранзистора починає текти колекторний струм, який протікає лише через резистор R1. Згідно закону Ома, збільшення струму через фіксований резистор наводить до зростання на ній падіння напруги. Таким чином, змінюється і напруга на колекторі VT2. Коли ця напруга стане менше U^* , пропадає зсув транзистора VT1 внаслідок того, що йому вимагається принаймні 0,7В, аби протікав базовий струм. Транзистор VT1 перестане проводити струм, реле K1 вимикається, і його контакти розімкнуться.

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

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

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

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

1.5 Вимоги до конструкції пристрою контролю руху електромеханічної системи стеження за сонцем

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

Обидві сонячні панелі аналогічні по конструкції. Кожна містить три елементи, які сполучені послідовно і прикріплені до пластин з оргстекла. Елементи будуть постійно підлегли до дії довколишнього середовища, тому для них необхідно передбачити заходи захисту. Зверху елементи покриваються товстим шаром лавсанової плівки, яка після температурної обробки розплавляється, створюючи герметичне покриття.

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

Фототранзистор можна розташувати в світлонепроникний корпус з мідної або алюмінієвої труби завдовжки близько 2,5 см і діаметром, відповід-

ним діаметру корпусу транзистора. Один кінець труби слід розплющити так, щоб залишилася щілина шириною 0,8 мм. Труба закріплюється на транзисторі. Готова схема управління з метою герметизації заливається віксином.

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

Оскільки реле виконує функції вмикання і вимикання, в електронній схемі необхідно передбачити використання кінцевих вимикачів, що розташовуються в крайніх положеннях рами, які змінюють напрям обертання електромотора. Для цього можна використовувати схему перемикача полярності (рис. 1.8).

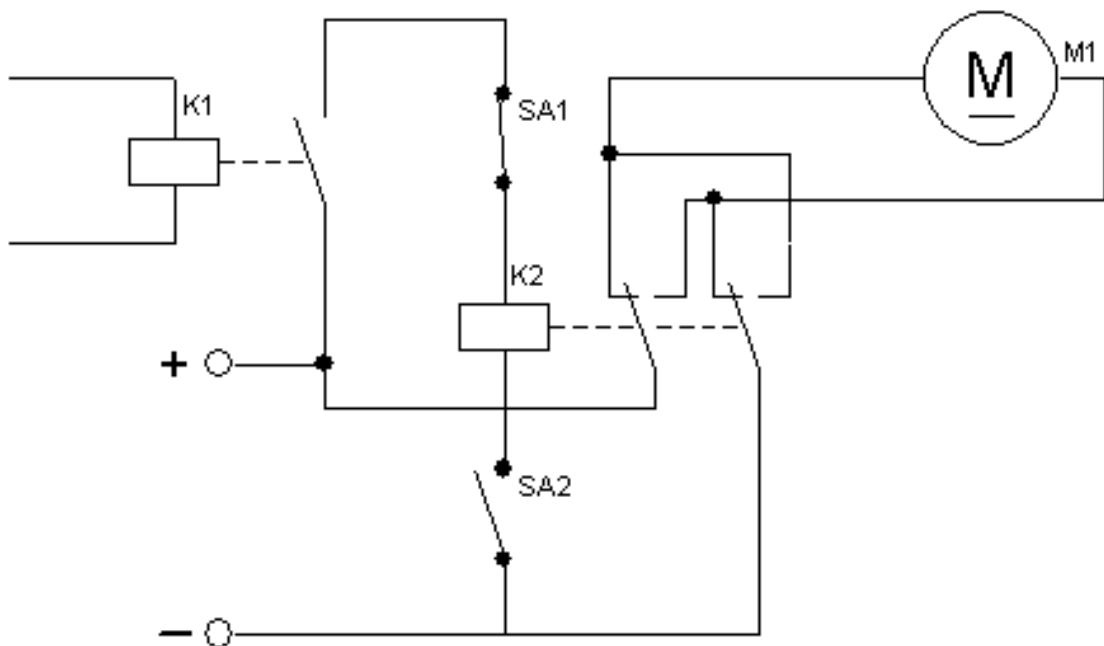


Рисунок 1.8 – Схема керування електродвигуном

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

У момент подачі живлення реле перемикача полярності K2 не спрацьовує, тому що коло живлення його обмотки розірваний нормально розімкненим контактом SA2. Електромотор обертає раму у напрямку до кінцевого вимикача SA2. У крайньому положенні свого обертання рама упирається в

нього. При замиканні цього вимикача спрацьовує реле K2 яке міняє полярність живлячої напруги електромотора, і останній починає обертатися в протилежному напрямі. Хоча кінцевий контакт SA2 знову розмикається, реле залишається ввімкненим завдяки тому, що його контакти замкнуті.

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

Метою роботи являється розробка схеми контролю руху електромеханічної системи стеження за сонцем.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити наступні завдання:

- розробити схему контролю руху електромеханічної системи;
- розробити топологію печатної плати;
- провести аналіз функціонування пристрою контролю руху електромеханічної системи стеження за сонцем.

2 Розробка схеми контролю руху електромеханічної системи стеження за сонцем

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

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

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

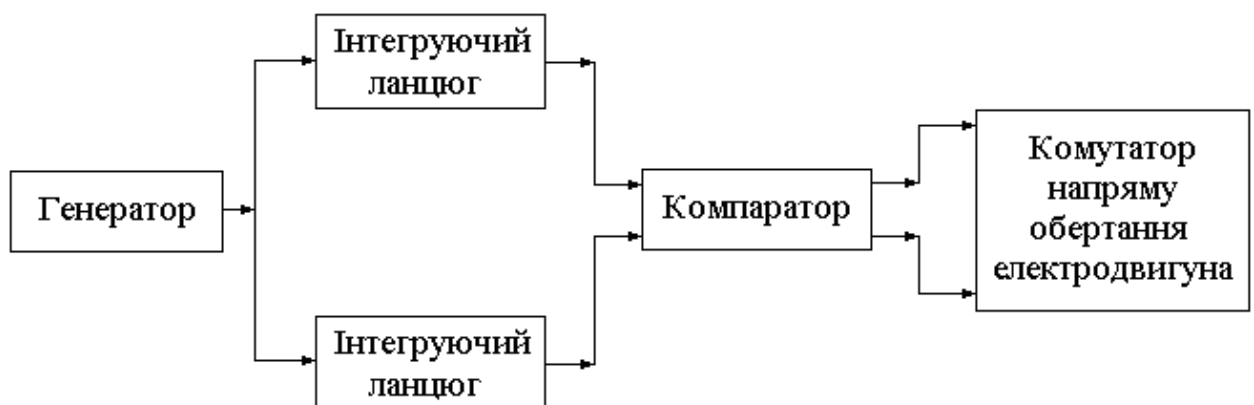


Рисунок 2.1 - Функціональна схема пристрою слідкування за сонцем

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

2.1 Аналіз схеми цифрового генератора тактових імпульсів

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

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

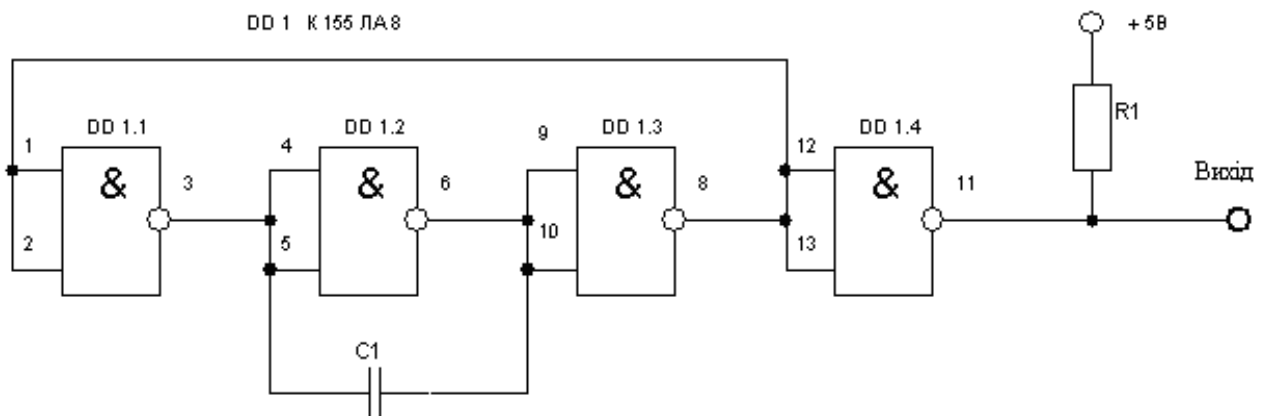


Рисунок 2.2 - Генератор імпульсів на мікросхемі К153ЛА8

Залежність частоти f (кГц) від ємності конденсатора $C1$ (пФ) виражається наближеною формулою:

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

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

У генераторі за схемою на рис. 2.3 тривалість імпульсів можна регулювати змінним резистором R2 (скважність змінюється від 1,5 до 3), а частоту - резистором R1 [6]. Наприклад, в генераторі з $C1 = 0,1$ мкФ при виключенні резистора R2 лише резистором R1 частоту імпульсів, що генеруються, можна змінювати від 8 до 125 кГц. Для здобуття іншого діапазону частот необхідно змінити ємність конденсатора C1 [6].

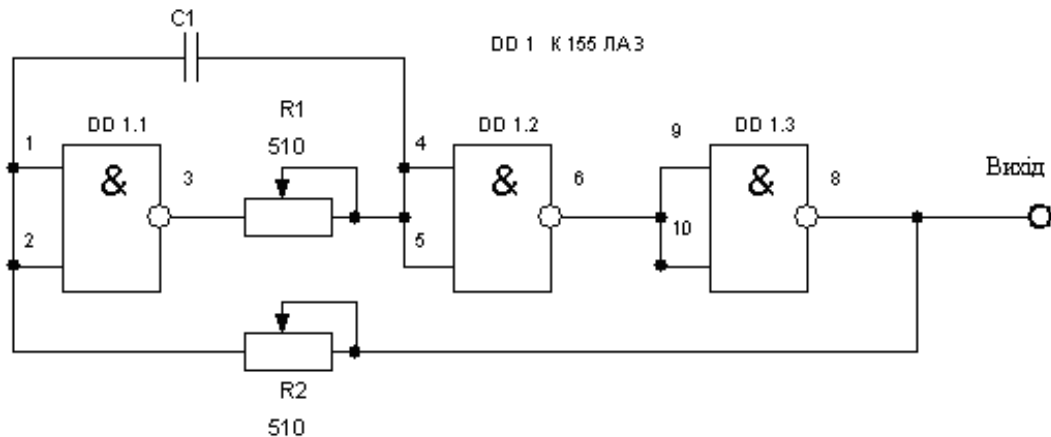


Рисунок 2.3 – Генератор імпульсів з регульованою тривалістю

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

Тривалість імпульсів регулюють резистором R1. Частоту дотримання можна визначити по формулі [7]:

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

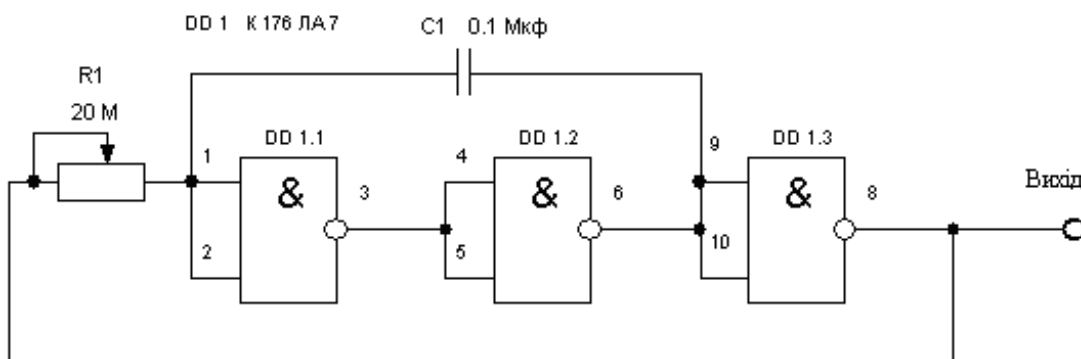


Рисунок 2.4 – Генератор імпульсів з регульованою тривалістю

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

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

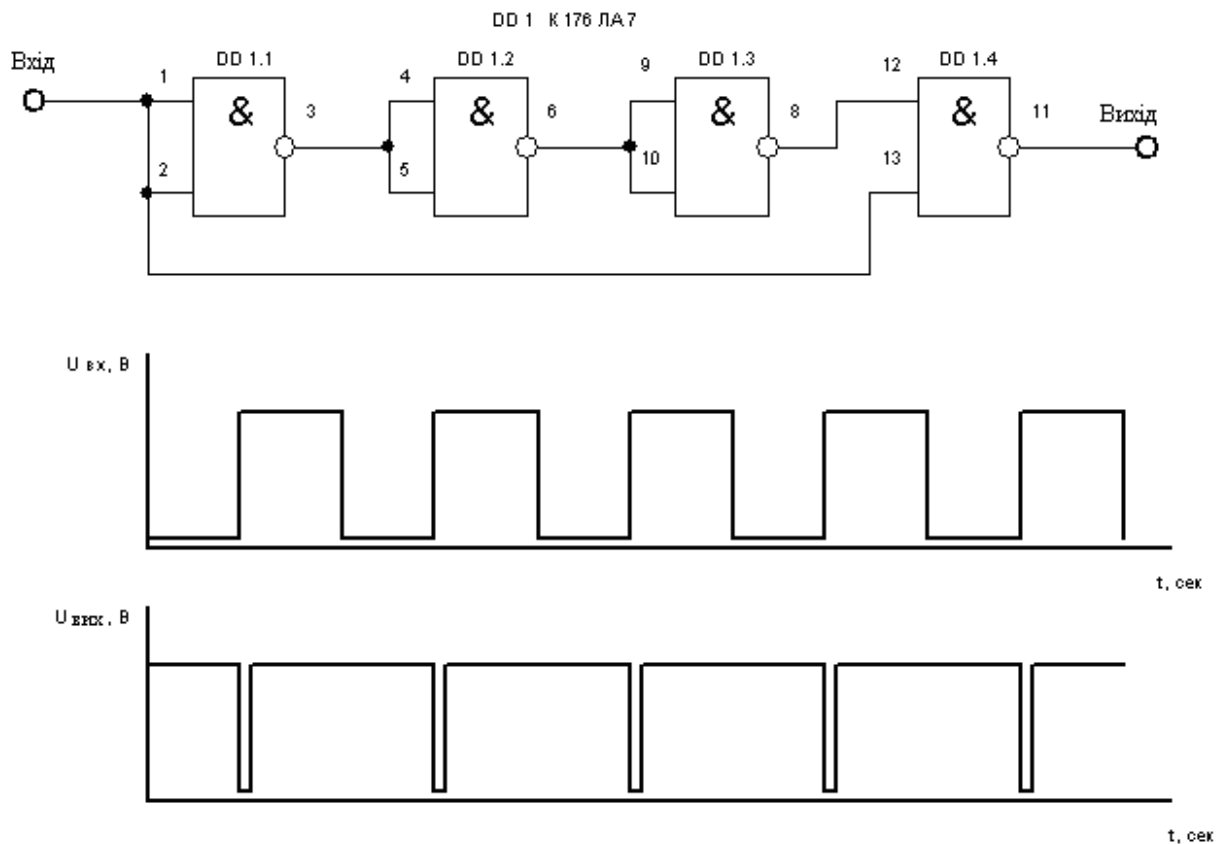
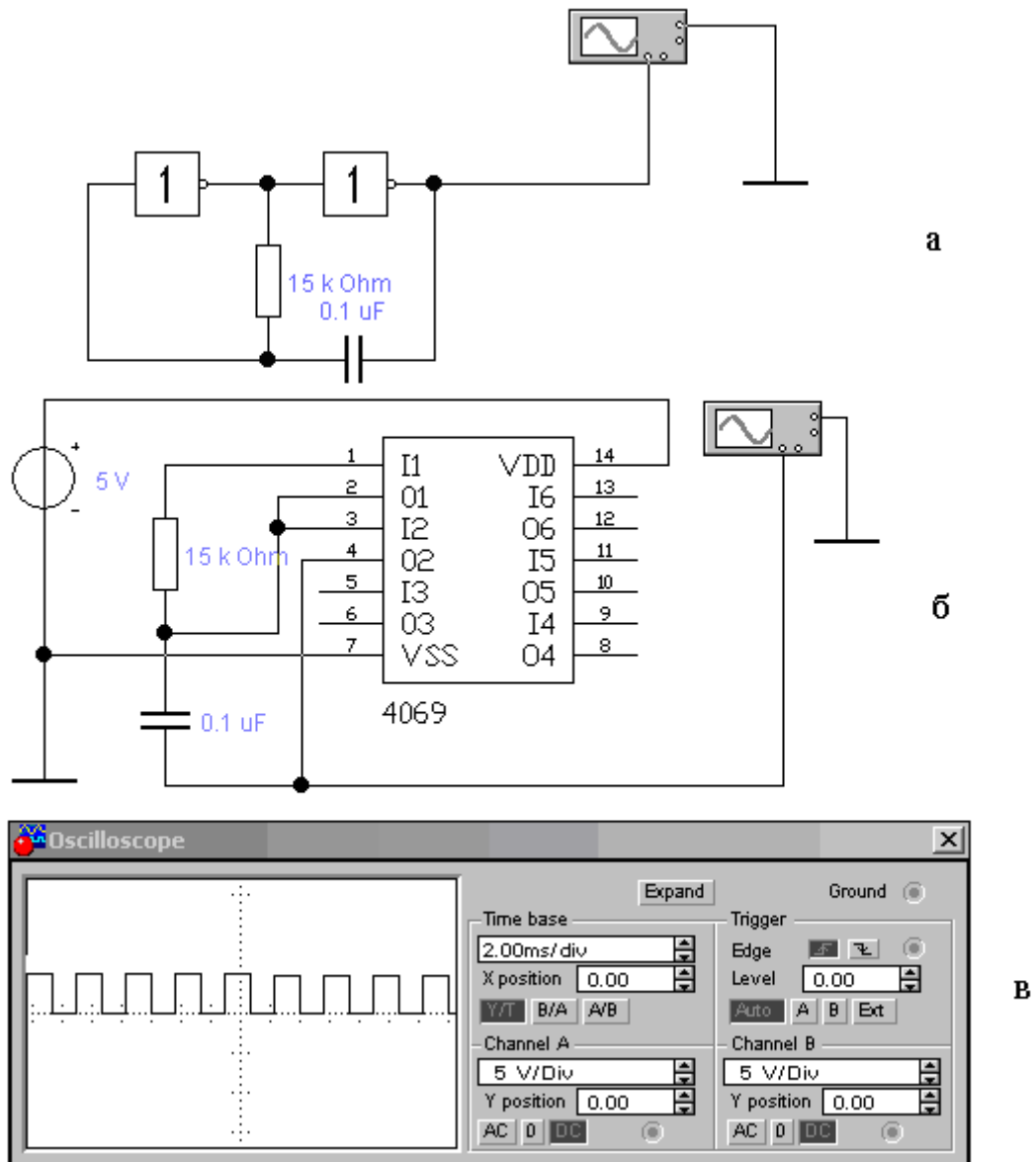


Рисунок 2.5 – Формувач імпульсів по фронту вхідного сигналу

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

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

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



а – на логічних елементах;

б – на мікросхемі 4069 (K561ЛН2);

в – діаграма функціонування

Рисунок 2.6 – Аналіз функціонування генератора імпульсів

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

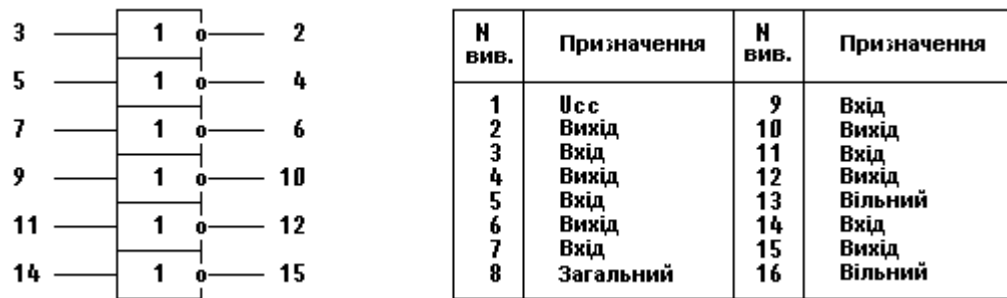


Рисунок 2.7 - Розташування та призначення виводів мікросхеми К561ЛН2

2.2 Аналіз схеми інтегруючого кола

Інтегруючим колом (інтегратором) називають коло, призначений для виконання операції інтегрування, тобто для одержання вихідної напруги $U_{вих}(t)$, пропорційного інтегралу від вихідного $U_{вх}(t)$ [6]:

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

Або в операторній формі:

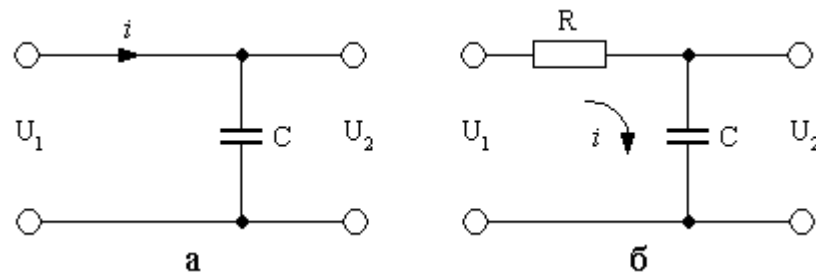
$$U_{вих}(p) = \frac{1}{p\tau} U_{вх}(p), \quad (2.4)$$

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

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

Крім цього складні еквівалентні схеми реальних електронних пристроїв після їхнього спрощення часто зводяться до таких кіл, що істотно спрощує їхній аналіз [6].

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



а – струму;

б - напруги

Рисунок 2.8 – Схеми інтеграторів

$$U_c = \frac{1}{C} \int i dt.$$

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

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

i практично не залежить від U_2 . Це виконується при $|U_2| \ll |U_1|$.

$$U_2 = U_1 = \frac{1}{C} \int_0^t i dt = \frac{1}{CR_0} \int_0^t (U_1 - U_2) dt.$$

При виконанні умови

$$|U_2| \ll |U_1|$$

можна приблизно записати, що

$$U_2 \cong \frac{1}{RC_0} \int U_1 dt. \quad (2.5)$$

Це результат точного інтегрування. Ступінь наближення реального вихідного сигналу до цього результату залежить від ступеня виконання нерівності $|U_2| \ll |U_1|$. З формули (2.5) видно, що для можливості використання RC - кіл як інтегруюче коло необхідно, щоб постійна часу RC була досить

велика. Однак зі збільшенням RC зменшується амплітуда вихідного сигналу. Тобто є дві зовсім протилежних вимоги до RC .

Проаналізуємо основні характеристики інтегруючого кола.

а) Передатна функція ідеального інтегруючого кола

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

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

Передатна функція реального інтегруючого кола:

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

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

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

Запишемо передатну функцію в частотній області:

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

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

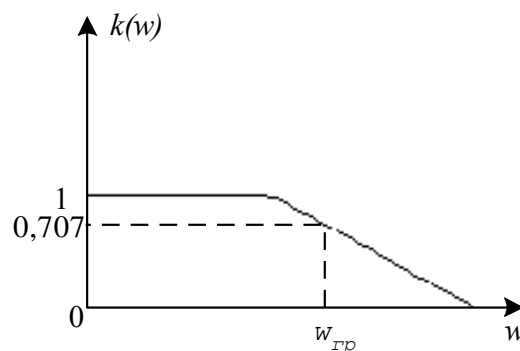


Рисунок 2.9 - АЧХ інтегруючого кола

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

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

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

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

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

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

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

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

Визначимо граничну частоту кола.

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

в) Фазочастотна характеристика (рис.2.10).

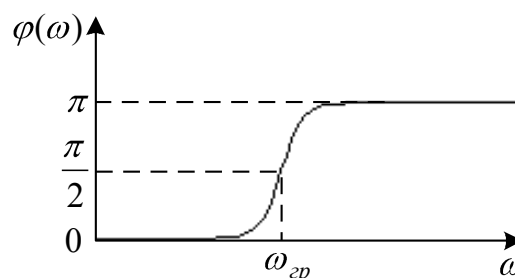


Рисунок 2.10 - ФЧХ інтегруючого кола

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

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

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

$$\varphi(\omega) = \operatorname{arctg}(-\omega \tau).$$

г) Перехідна характеристика.

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

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

де $\tau = RC$.

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

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

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

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

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

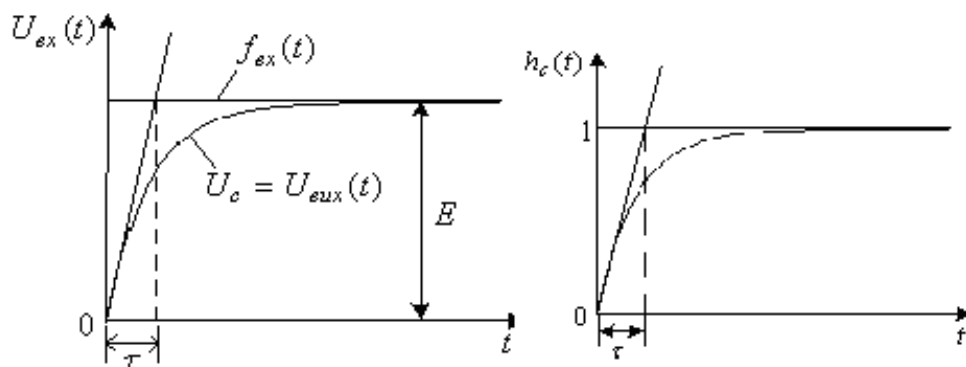


Рисунок 2.11 - Перехідна характеристика інтегруючого кола

Проаналізуємо проходження імпульсів через інтегруючі RC – кола

а) Імпульс прямокутної форми (рис 2.12).

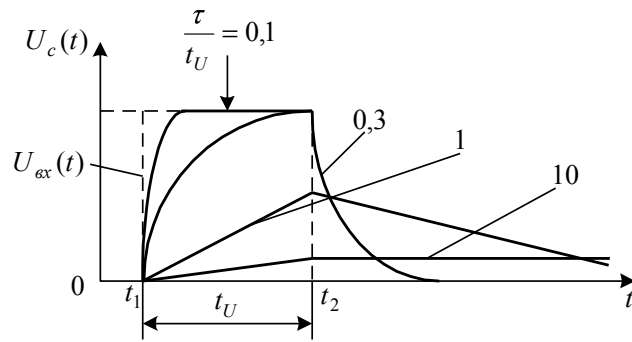


Рисунок 2.12 – Аналіз імпульсу прямокутної форми

На вхід надходить імпульс прямокутної форми. Скористаємося методом суперпозиції для знаходження U_c . Розкладемо $U_{ox}(t)$ на два елементарних стрибкоподібних сигнали $U_{ox_1}(t)$ і $U_{ox_2}(t)$:

$$U_{ox_1} = E \cdot 1(t - t_1); \quad U_{ox_2} = E \cdot 1(t - t_2).$$

б) Імпульс трапецієподібної форми (рис 2.13).

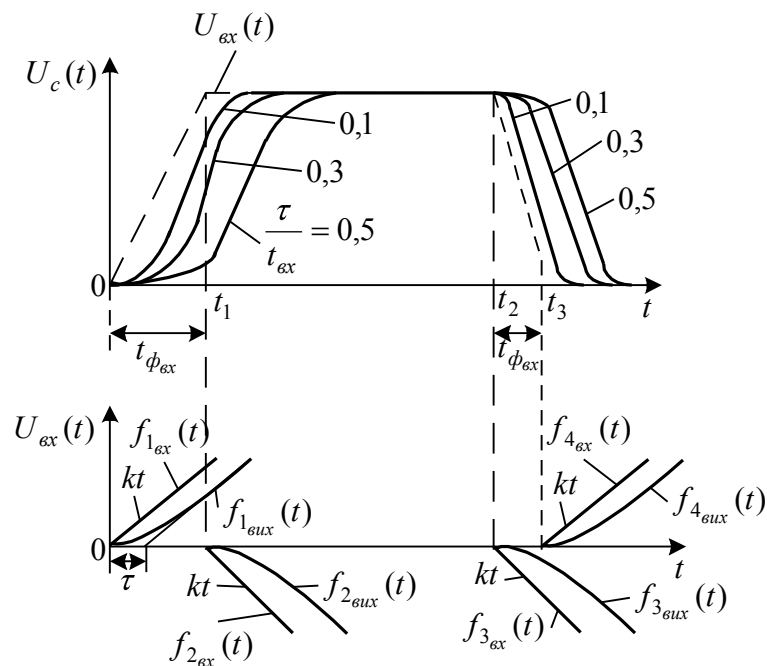


Рисунок 2.13 - Аналіз імпульсу трапецієподібної форми

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

$$U_{ox_1}(t) = kt \cdot 1(t);$$

$$U_{\text{ex}_2}(t) = k(t - t_1) \cdot 1(t - t_1);$$

$$U_{\text{ex}_3}(t) = k(t - t_2) \cdot 1(t - t_2);$$

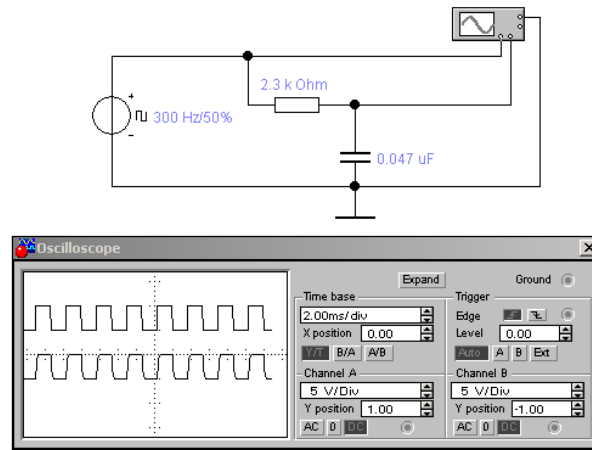
$$U_{\text{ex}_4}(t) = k(t - t_3) \cdot 1(t - t_3).$$

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

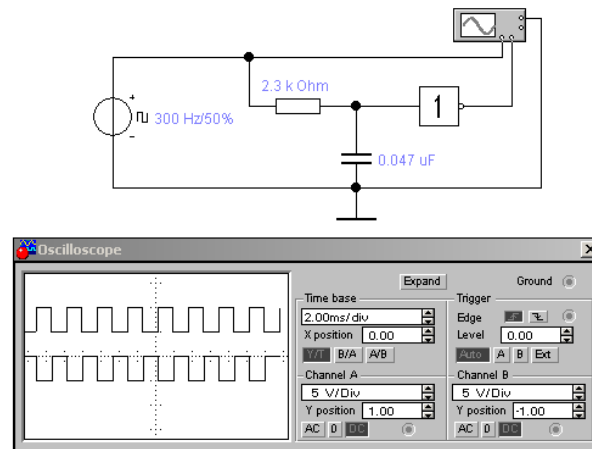
$$U_{\text{вих}} = \frac{E \cdot \tau}{t_{\phi_{\text{ex}}}}.$$

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

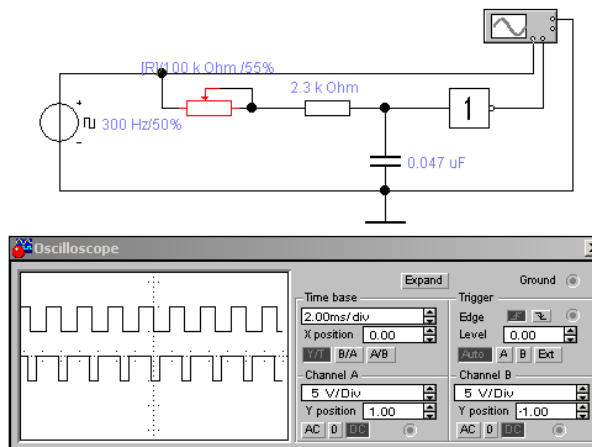
Проведемо аналіз функціонування інтегруючого кола в програмному забезпеченні Electronics Workbench. На рисунку (рис. 2.14) показана послідовність проведення досліджень параметрів фрагментів інтегратора. Форма вихідного сигналу (рис. 2.14 а) залежить від заряду ємності. Для подальшого перетворення тривалості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



a



б



в

Рисунок 2.14 – Аналіз функціонування схеми інтегруючого кола

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

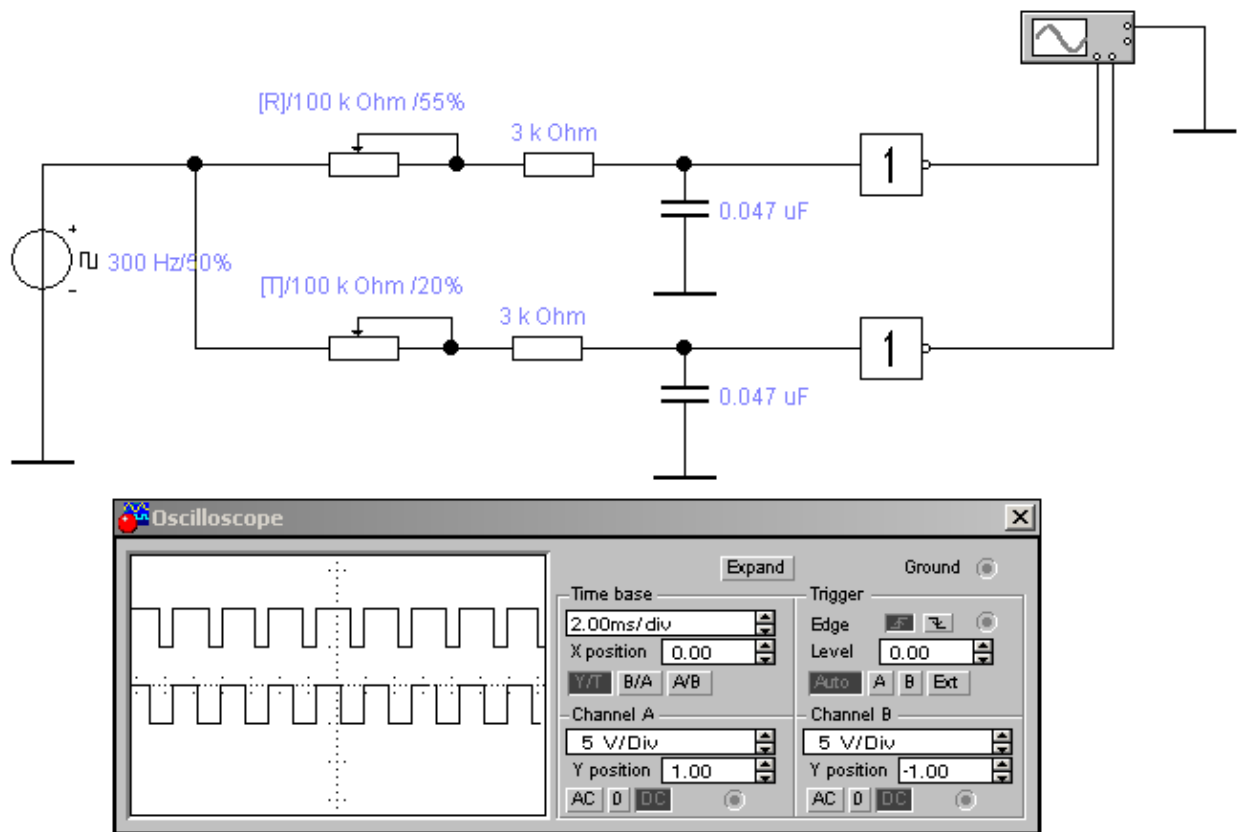


Рисунок 2.15 – Аналіз функціонування блоку інтегруючих кіл

2.3 Аналіз функціонування компаратора

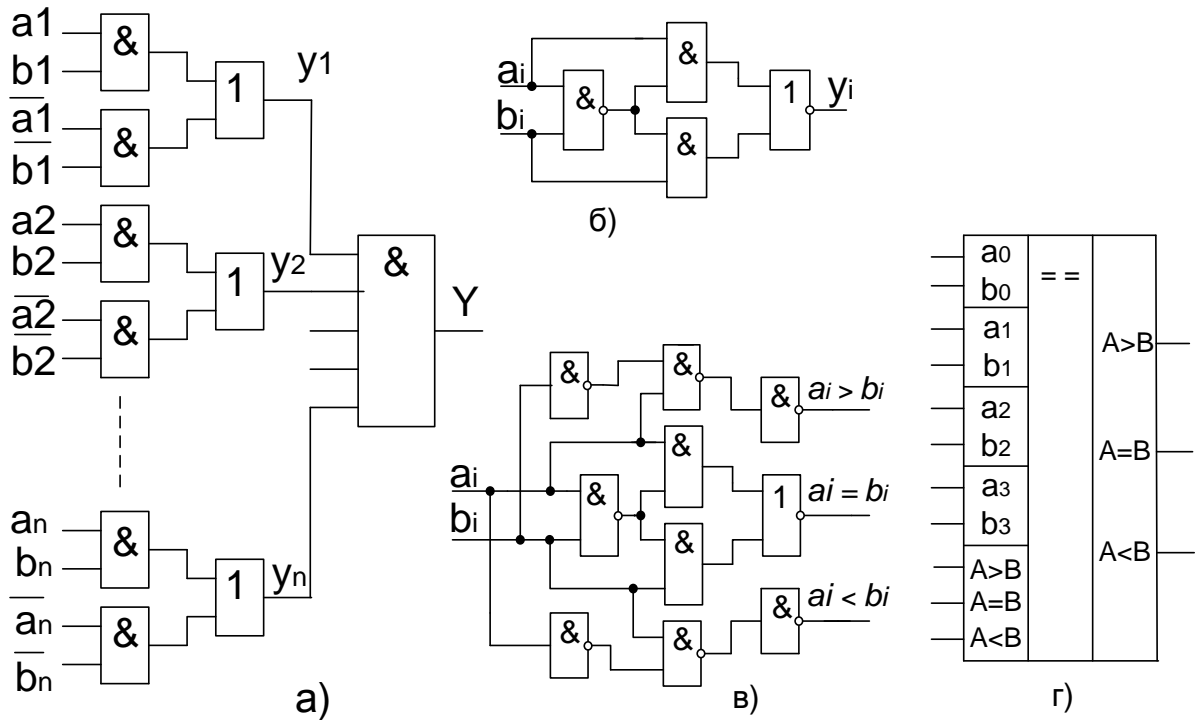
Пристрої порівняння кодів призначені для вироблення вихідного сигналу у разі, коли коди двох чисел, що поступають на їх входи, виявляються однаковими [7].

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

$$Y = a_1 b_1 + \bar{a}_1 \bar{b}_1 \cdot \dots \cdot a_n b_n + \bar{a}_n \bar{b}_n = \prod_{i=1}^n a_i b_i + \bar{a}_i \bar{b}_i ,$$

де n – число розрядів.

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



- а) – структурна схема;
- б) – мінімізований варіант схеми порівняння в одному розряді;
- в) – однорозрядний компаратор;
- г) – умовне графічне позначення 4 – розрядного компаратора

Рисунок 2.16 - Пристрої порівняння кодів

Недоліком розглянутої схеми є велике число входів, оскільки для роботи пристрою потрібні не лише прямі, але і інверсні коди чисел А і В [7].

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

$$f_i = \overline{a_i b_i + a_i \overline{b_i}} = \overline{a_i b_i} \cdot \overline{a_i \overline{b_i}} = \overline{a_i} \overline{b_i} \cdot a_i + b_i$$

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

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

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

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

Цифрові компаратори випускають у вигляді окремих мікросхем. Наприклад, К561ИП2 дозволяє порівнювати два 4 – розрядних числа з визначенням знаку нерівності. Умовне графічне позначення цієї мікросхеми приведене на рисунку 2.16 г.

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

Таблиця 2.1 - Алгоритм функціонування схеми порівняння

A	B	F ₁	F ₂
0	0	0	0
0	1	1	0
1	0	0	1
1	1	0	0

Рівняння функціонування схеми:

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

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

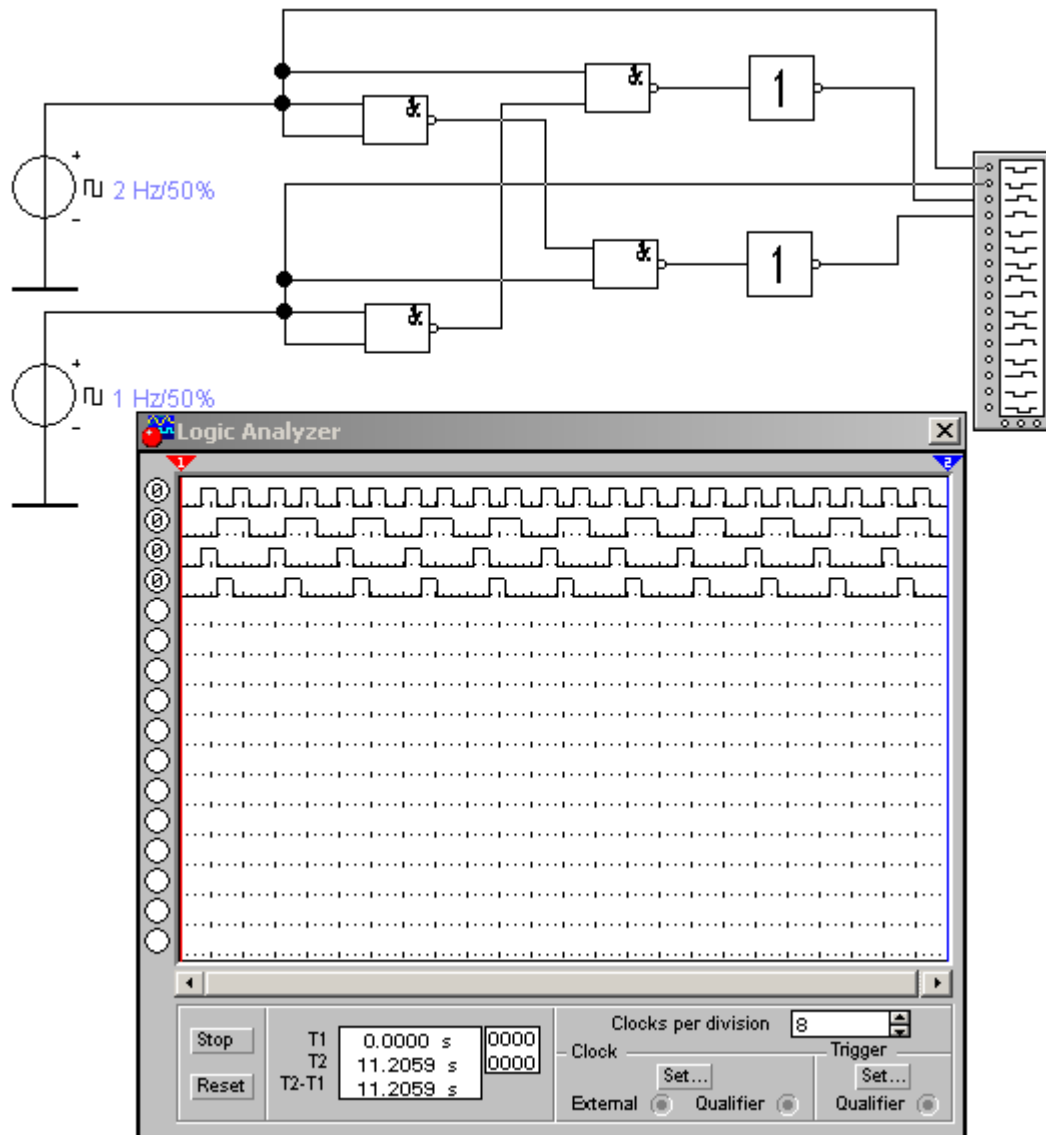


Рисунок 2.17 – Аналіз функціонування компаратора

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

2.4 Функціонування пристрою контролю руху електромеханічної системи стеження за сонцем

Загальна функціональна схема пристрою слідування за сонцем представлена на рисунку 2.18.

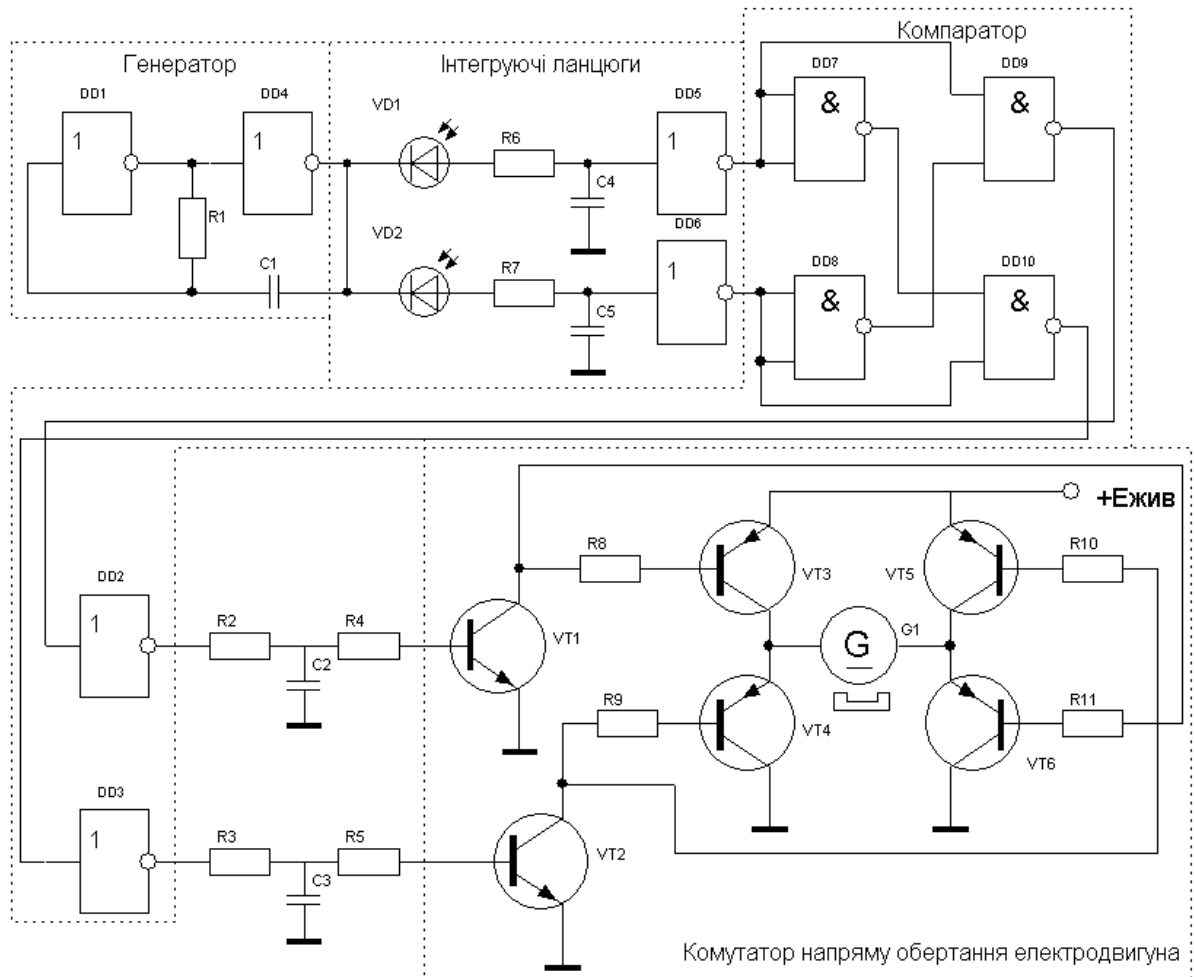


Рисунок 2.18 - Функціональна схема пристрою контролю руху електромеханічної системи стеження за сонцем

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

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

При роботі пристрою порівнюється тривалість імпульсів, сформованих інверторами DD5, DD6 і інтегруючими колами VD1R6C4, VD2R7C5. Їх тривалість міняється залежно від постійної часу інтеграції, яка, у свою чергу, залежить від освітленості фотодіодів VD1 і VD2 (струм зарядки конденсаторів C4 і C5 пропорційний їх освітленості).

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

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

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

Зі сходом сонця освітленість фотодіодів VD1 і VD2 виявиться різною, і електродвигун почне повертати сонячну батарею із заходу на схід. У міру зменшення різниці в тривалості імпульсів, що виробляються формувачами,

зменшуватиметься тривалість результуючого імпульсу, і швидкість повороту сонячної батареї плавно сповільниться, що забезпечить її точне позиціонування.

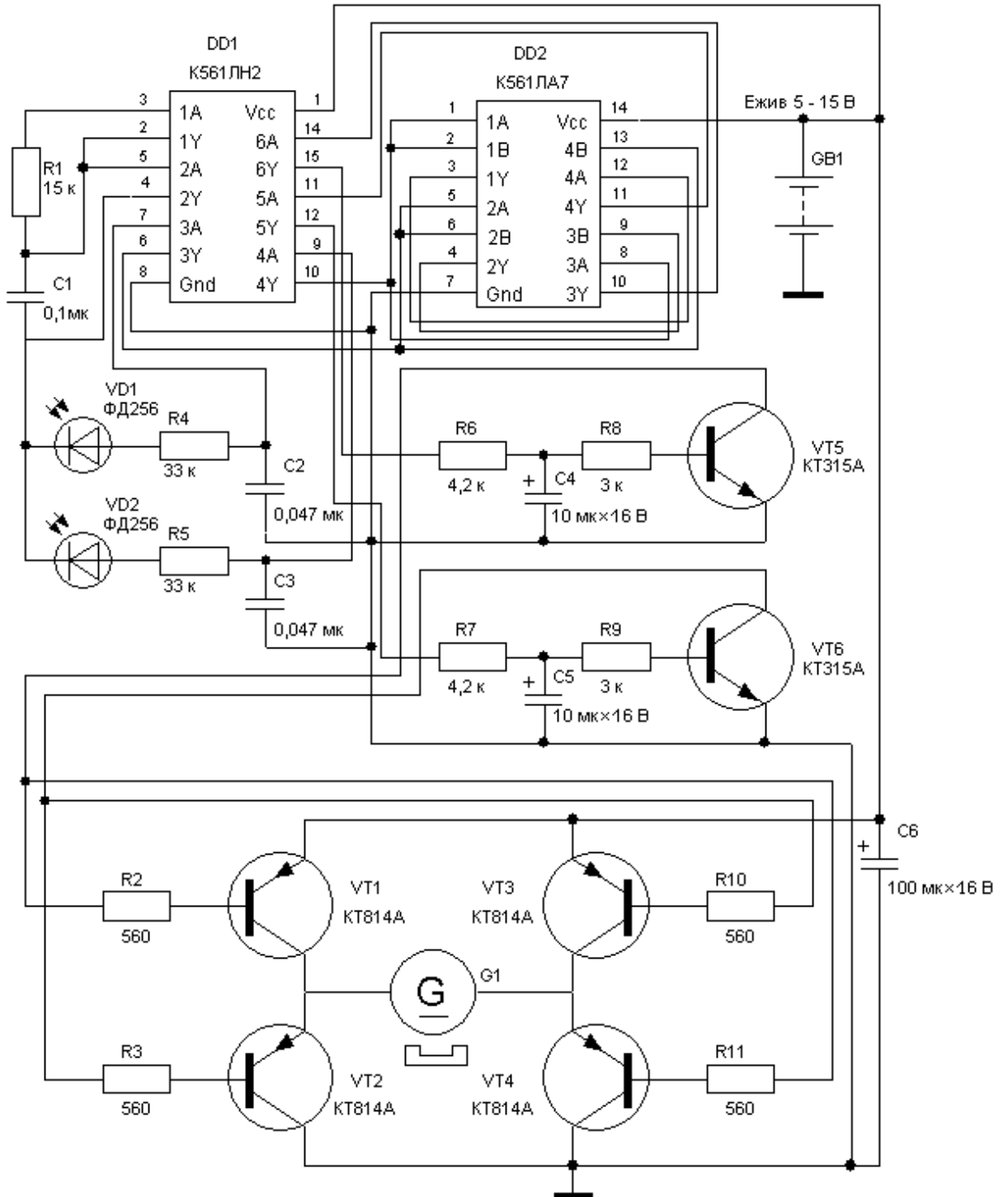


Рисунок 2.19 – Схема електрична пристрою контролю руху електромеханічної системи стеження за сонцем

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

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

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

Замість фотодіодів ФД256 допустимо використовувати окремі сонячні елементи самої батареї (включені з дотриманням полярності), фототранзистори без кіл зсуву, а також фоторезистори, наприклад, СФ2, СФ3. Слід лише підібрати (змінний опір резистора R1) частоту тактового генератора по надійному спрацьовуванню цифрового компаратора.

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

Транзистори VT3 – VT6 пригвинчені до плати і забезпечені тепловідводами Г-подібної форми площею близько 10 см², зігнутими із смужок листового алюмінієвого сплаву завтовшки 1,5 мм.

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

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

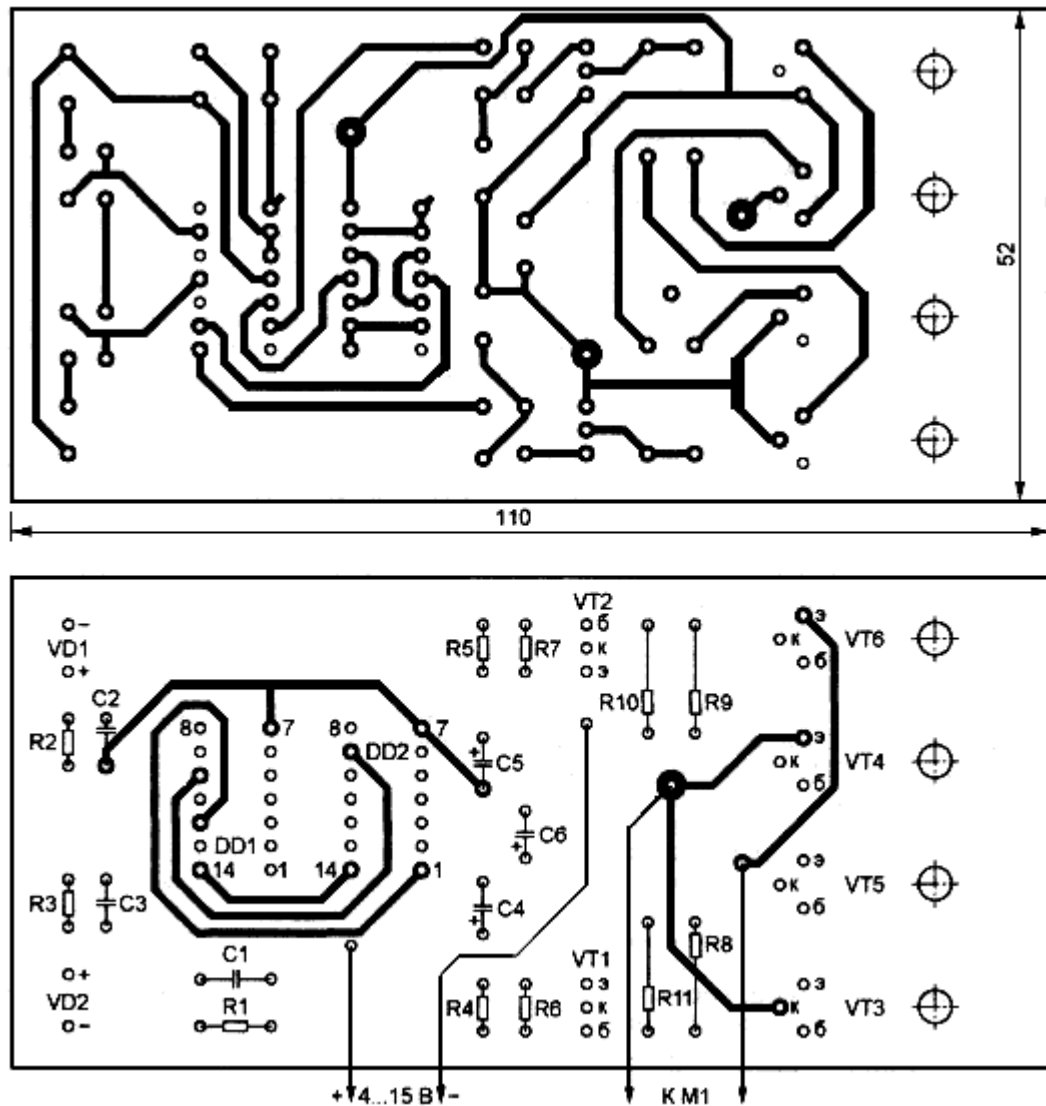


Рисунок 2.20 – Печатна плата з монтажем елементів пристрою орієнтування сонячної батареї на Сонце

Для захисту фотодіодів від надлишкового опромінення застосований зелений світлофільтр. Між фотодатчиками поміщають непрозору шторку. Її

закріплюють перпендикулярно платі з таким розрахунком, аби при зміні кута освітлення вона затінювала один з фотодіодів.

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

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

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

Розроблений пристрій контролю руху електромеханічної системи стеження за сонцем функціонує згідно з поставленими вимогами і дозволяє орієнтувати геліосистеми на сонце.

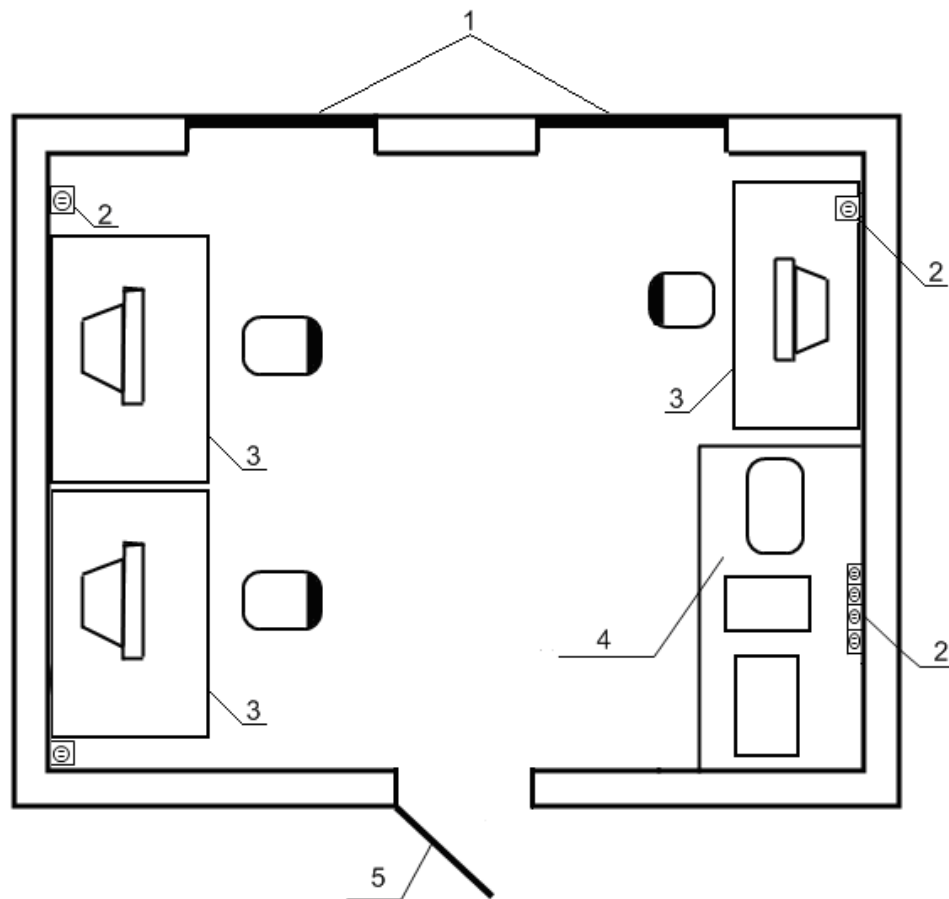
Автономне живлення схеми пристрою дозволяє використовувати його незалежно від зовнішніх електричних мереж.

3 Охорона праці та техногенна безпека

3.1 Характеристика потенційних небезпечних та шкідливих виробничих факторів

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

На рисунку 3.1 наведено план розташування робочих місць інженерів-електронщиків.



1 – вікна; 2 – розетка; 3 – робоче місце; 4 – місце для стендів; 5 – двері

Рисунок 3.1 – План розташування робочих місць інженерів-електронщиків

На робочому місці інженер електронщик піддається впливу наступних несприятливих факторів [8]:

- недостатнє освітлення;
- шум від працюючих машин (комп'ютерів, робочих стендів) На даному робочому місці шум непостійний. Джерелом шуму є робочі стенди. Шум діє на робітника протягом 5 годин;
- електромагнітне випромінювання;
- виділення надлишків теплоти;
- підвищена запиленість.

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

- неправильна ергономічна організація робочого місця, нераціональні зони розміщення обладнання по висоті від підлоги, по фронту від осі симетрії;
- характер протікання праці. Трудовий процес організований таким чином, що інженер електронщик змушений з перших хвилин робочого дня вирішувати найбільш складні і трудомісткі задачі, у той час як у перші хвилини роботи функціональна рухливість нервових клітин мозку низька.

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

Джерела небезпечних та шкідливих чинників на інженера – електронщика [9]:

- рівень шуму в приміщенні протягом робочого дня непостійний. При цьому протягом однієї години діє шум з рівнем звуку 83 дБА, протягом наступних двох годинників $\frac{3}{4}$ з рівнем звуку 86 дБА, останню годину $\frac{3}{4}$ 81 дБА при тому що норматив повинен бути не більше 70 дБА. Отже, робоче місце по показнику рівня шуму відноситься до класу умов праці 3.2 – шкідливий.

- основним джерелом електромагнітного випромінювання приміщення є персональні комп'ютери.

3.2 Заходи зі зменшення впливу небезпечних та шкідливих виробничих факторів

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

Засоби колективного захисту призначені для [9]:

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

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

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

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

4. Захисту від ураження електричним струмом (різні види огороження, захисне заземлення, автоматичне відключення, дистанційне керування).
5. Забезпечення недоступності струмоведучих частин досягається ізолюванням струмовідних кабелів і проводів;
6. Захисту від дії механічних факторів (огороження, автоматичний контроль і сигналізація, знаки безпеки);
7. Захисту від хімічних факторів (огороження, герметизація, вентиляція та очищення повітря, дистанційне керування, знаки безпеки);
8. Захисту від високих і низьких температур навколишнього середовища (огороження, автоматичний контроль і сигналізація, термоізоляція, дистанційне керування).

3.3 Виробнича санітарія

Оскільки у приміщенні присутнє лабораторне устаткування, комп'ютери, шафи та робоча документація, то спостерігається деяка запиленість. За нормою запиленість в приміщенні не повинна перевищувати 4 мг/м^3 , а в даному приміщенні вона складає $4,5 \text{ мг/м}^3$.

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

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

Зниження шуму, створюваного на робочих місцях лабораторного приміщення внутрішніми джерелами, а також шуму проникаючого зовні, є дуже важливим завданням. Зниження шуму в джерелі випромінювання можна забезпечити застосуванням пружних прокладок між підставою приладу і опорною поверхнею. Як прокладки використовуються гума, повсть, пробка, різної конструкції амортизатори. Під настільні шумливі апарати можна підкладати м'які килимки з синтетичних матеріалів, а під ніжки столів, на яких вони встановлені, - прокладки з м'якої гуми, повсті, завтовшки 6 - 8 мм. Кріплення прокладок можливе шляхом приклеювання їх до опорних частин [10].

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

- знизити ефект сумарної дії відбитих звукових хвиль (звукопоглинаючі поверхні конструкцій);
- застосовувати раціональне розташування обладнання;
- використовувати архітектурно-планувальні і технологічні рішення ізоляцій джерел шуму.

Температура в приміщеннях є одним з провідних чинників, що визначають метеорологічні умови виробничого середовища. Високі температури надають негативну дію на здоров'я людини. Робота в умовах високої температури супроводжується інтенсивним потовиділенням, що приводить до обезводнення організму, втрати мінеральних солей і водорозчинних вітамінів, викликає серйозні і стійкі зміни в діяльності серцево-судинної системи, збільшує частоту дихання [10].

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

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

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

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

Світло є природною умовою життя людини, необхідною для збереження здоров'я і високої продуктивності праці, і заснованим на роботі зорового аналізатора. Недостатнє освітлення робочого місця утрудняє тривалу роботу, викликає підвищене стомлення і сприяє розвитку короткозорості. Дуже низькі рівні освітленості викликають апатію, сонливість, а в деяких випадках сприяють розвитку відчуття тривоги. Таким чином буде доцільно зробити розрахунок фактичної освітленості приміщення [9].

Для освітленості приміщення з розмірами $A = 6,5$ м, $B = 3,7$ м та висотою $H = 3,5$ м використовуються 2 світильники ОДР з двома люмінесцентними лампами типу ЛБ - 40. Коефіцієнти віддзеркалення світлового потоку від стелі, стін і підлоги відповідно рівні $p_{ном} = 70\%$, $p_{ст} = 50\%$, $p_{пола} = 10\%$. Затінювання робочих місць немає. Висота звісу світильника $h_c = 0$, висота робочої поверхні над рівнем підлоги $h_p = 0.8$ м.

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

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

$$E_{\phi} = \frac{N \cdot F \cdot n \cdot \eta}{S \cdot z \cdot k_3}, \text{ (лк)} \quad (4.1)$$

де $N = 2$ – число світильників, шт.;

$F = 3120$ лм – світловий потік лампи;

$n = 2$ – число ламп в світильнику;

S - площа освітлюваного приміщення;

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

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

η – коефіцієнт використання освітлювальної установки.

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

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

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

h_n - висота від робочої поверхні до світильника, визначається висотою приміщення (H , м) і висотою умовної робочої поверхні ($h_p = 0.8$ м) по формулі:

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

Підставляємо набуте значення у формулу (4.2) і знаходимо індекс приміщення:

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

Підставляємо всі знайдені величини в формулу (3.1):

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

Оскільки отримана величина $E_\phi < E_n$ для досягнення нормативної освітленості необхідно або збільшити кількість світильників, або збільшити потужність ламп. Порахуємо міру збільшення W :

$$W = \frac{E_n}{E_\phi} = \frac{400}{279.9} = 1.42 \text{ разів}$$

Тепер можна обчислити необхідну кількість світильників:

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

Збільшимо кількість світильників до 3 штук. Тоді

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

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

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

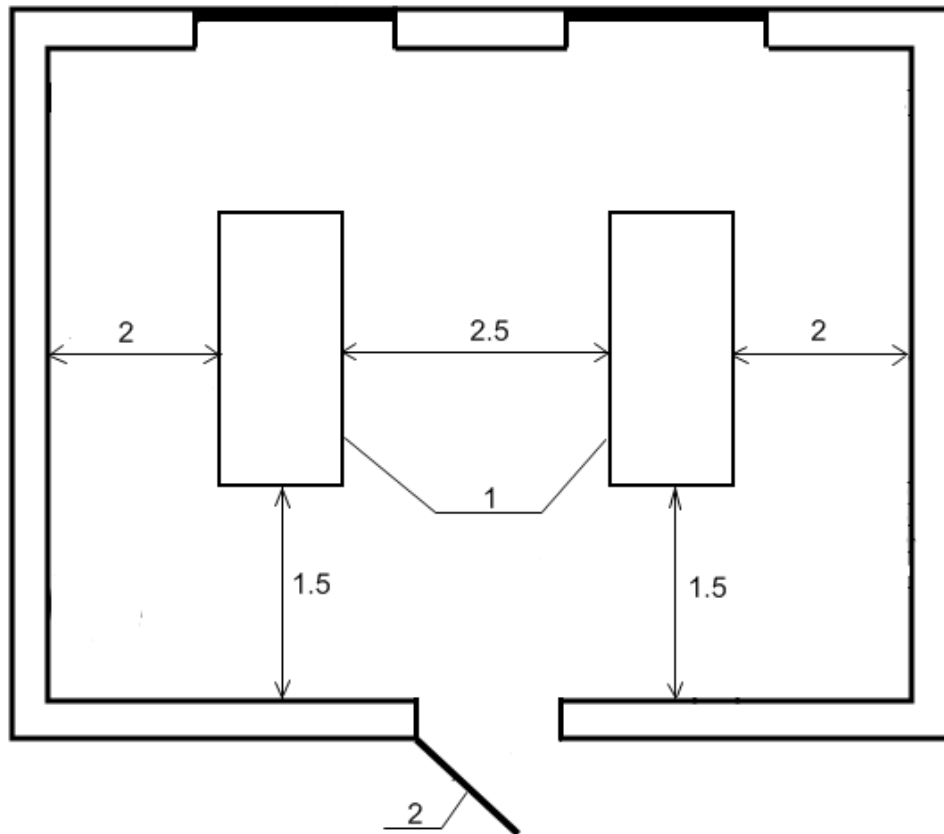
$$F_1 = F \cdot W = 3120 \cdot 1.42 = 4430.4, \text{ (лм)}$$

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

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

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

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



1 – світильник;

2 – двері

Рисунок 3.2 – План розташування світильників в лабораторному приміщенні

3.4 Електробезпека

Електричні установки, до яких відноситься практично все обладнання ЕОМ, представляють для людини велику потенційну небезпеку, тому що в процесі експлуатації або проведенні профілактичних робіт людина може торкнутися частин, що знаходяться під напругою. Специфічна небезпека електроустановок: струмоведучі провідники, корпуси стійок ЕОМ і іншого устаткування, що опинилося під напругою в результаті пошкодження (пробою) ізоляції, не подають будь-яких сигналів, які попереджають людину про небезпеку. Реакція людини на електричний струм виникає лише при протіканні

останнього через тіло людини. Виключно важливе значення для запобігання електротравматизма має правильна організація обслуговування діючих електроустановок, проведення ремонтних, монтажних і профілактичних робіт. При цьому під правильною організацією розуміється строге виконання ряду організаційних і технічних заходів і засобів, встановлених діючими "Правилами технічної експлуатації електроустановок споживачів і правила техніки безпеки при експлуатації електроустановок споживачів" (ПТЕ і ПТБ споживачів) і "Правила установки електроустановок" (ПУЕ) Залежно від категорії приміщення необхідно вжити певних заходів, що забезпечують достатню електробезпеку при експлуатації і ремонті електроустановок. Так, в приміщеннях з підвищеною небезпекою електроінструменти, переносні світильники повинні бути виконані з подвійною ізоляцією або напруга живлення їх не повинна перевищувати 42 В. В особливо небезпечних приміщеннях напруга живлення переносних світильників не повинна перевищувати 12 В [10].

Щоб захистити людину від ураження електричним струмом, захисне заземлення має задовольняти ряду вимог, викладених у ПУЕ і ГОСТ 12.1.030 - 81 "ССБТ. Електробезпека. Захисне заземлення. Занулення ». Ці вимоги залежать від напруги електроустановок та потужності джерела живлення. В електроустановках змінного струму напругою до 1000 В у мережі з ізольованою нейтраллю або ізольованим виводом джерела однофазного струму опір заземлювального пристрою не повинен перевищувати 4 Ом.

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

3.5 Пожежна безпека

Пожежі в лабораторному приміщенні становлять особливу небезпеку, тому що пов'язані з великими матеріальними втратами. Характерна особли-

вість лабораторних кімнат - невеликі площі приміщень. Як відомо, пожежа може виникнути при взаємодії горючих речовин, окислення і джерел запалювання. У даному приміщеннях присутні всі три основні чинника, необхідні для виникнення пожежі.

Горючими компонентами в кімнаті є: будівельні матеріали для акустичної і естетичної обробки приміщень, перегородки, двері, підлоги, перфокарти і перфострічки, ізоляція кабелів і ін.

Протипожежний захист - це комплекс організаційних і технічних заходів, спрямованих на забезпечення безпеки людей, на запобігання пожежі, обмеження її розповсюдження, а також на створення умов для успішного гасіння пожежі.

Джерелами запалювання в лабораторному приміщенні можуть бути електронні схеми від ЕОМ, прилади, застосовувані для технічного обслуговування, пристрої електроживлення, кондиціонування повітря, де в результаті різних порушень утворюються перегріті елементи, електричні іскри і дуги, здатні викликати загоряння горючих матеріалів.

В сучасних ЕОМ дуже висока щільність розміщення елементів електронних схем. У безпосередній близькості один від одного розташовуються сполучні дроти, кабелі. При протіканні по них електричного струму виділяється значна кількість теплоти. При цьому можливо оплавлення ізоляції. Для відводу надлишкової теплоти від ЕОМ служать системи вентиляції та кондиціонування повітря. При постійній дії ці системи представляють собою додаткову пожежну небезпеку.

Для більшості приміщень лабораторних кімнат встановлена категорія пожежної небезпеки В.

Однією з найбільш важливих завдань пожежного захисту є захист будівельних приміщень від руйнувань та забезпечення їх достатньої міцності в умовах впливу високих температур при пожежі. Враховуючи високу вартість електронного обладнання, а також категорію його пожежної небезпеки, будівлі для лабораторного приміщення і частини будівлі іншого призначення, в

яких передбачено розміщення ЕОМ, повинні бути 1 та 2 ступеня вогнестійкості.

Для гасіння пожеж на початкових стадіях широко застосовуються вогнегасники. В лабораторних приміщеннях застосовуються головним чином вуглекислотні вогнегасники ОУ-5 (ВВК3,5), перевагою яких є висока ефективність гасіння пожежі, схоронність електронного устаткування, діелектричні властивості вуглекислого газу, що дозволяє використовувати ці вогнегасники навіть у тому випадку, коли не вдається знеструмити електроустановку відразу. Вогнегасник ОУ5 (ВВК3,5) переносний з місткістю балона 5 літрів (3,5 кілограма), призначений для гасіння електроустановок, що знаходяться під напругою не більш 10 кВ. В даному приміщенні знаходиться один такий вогнегасник.

Висновки та рекомендації

1. Розроблена конструкція з використанням двох фотодіодів забезпечує отримання схемою контролю руху електромеханічної фотовольтаїчної системи, сигналів позиціонування прийомних панелей на сонце з більшою ефективністю в зрівнянні з існуючими аналогами.

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

3. Автономне живлення дозволяє функціонувати електромеханічної фотовольтаїчної системи незалежно від зовнішніх мереж.

4. Аналіз функціонування схеми контролю руху електромеханічної фотовольтаїчної системи дозволяє переконатися в правильності перемикання сигналів, які управляють направленням обертання електродвигунів.

Рекомендується використовувати розроблену схему та конструкцію електромеханічної фотовольтаїчної системи в промислових та побутових приладах перетворення сонячної енергії.

Перелік посилань

1. Панкратов А. І. Системи керування електроприводами. Видання 2: Навч. посібник. Краматорськ: ДДМА, 2018. 225 с.
2. Бабічева О. Ф., Єсаулов С. М. Автоматизоване проектування електромеханічних пристроїв, компонентів цифрових систем керування та діагностичних комплексів. Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2018. 355 с.
3. Поповіч М. Г., Лозинський О. Ю., Клепиков В. Б. Електромеханічні системи автоматичного керування та електроприводи: Навч. посібник. Київ : Либідь, 2005. 680 с.
4. Байерс Т. 20 конструкцій з сонячними елементами.. Київ : Світоч, 1988. 197 с.
5. Калашніков В. І., Паліс Ф., Лозинський О. Ю. Основи теорії фаззі-логіки та фаззі-регулювання: Навч. посібник. Донецьк; Магдебург; Львів : 2000. 69с.
6. Бойко В.І., Гуржій А.М., Жуйков В. Я. Основи схемотехніки електронних систем: підручник. Київ : Вища шк., 2004. 527 с
7. Верьовкін Л.Л., Світанько М.В., Кісельов Є.М, Хрипко С.Л. Цифрова схемотехніка: Підручник. – Запоріжжя: ЗДІА, 2016. – 214 с.
8. Кожемякін Г.Б., Рижков В.Г., Белоконь 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.
9. Ткачук К.Н. Охорона праці і довкілля в радіоелектронній промисловості. Київ : Вища шк., 1988. 240 с.
10. Горобець А.І. Степаненко А.І. Охорона праці в радіоелектронній промисловості. Київ : Техніка, 1987. 345 с.