

Лекція 13. Системи управління ефективністю фотоелектричних перетворювачів

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.13.1).

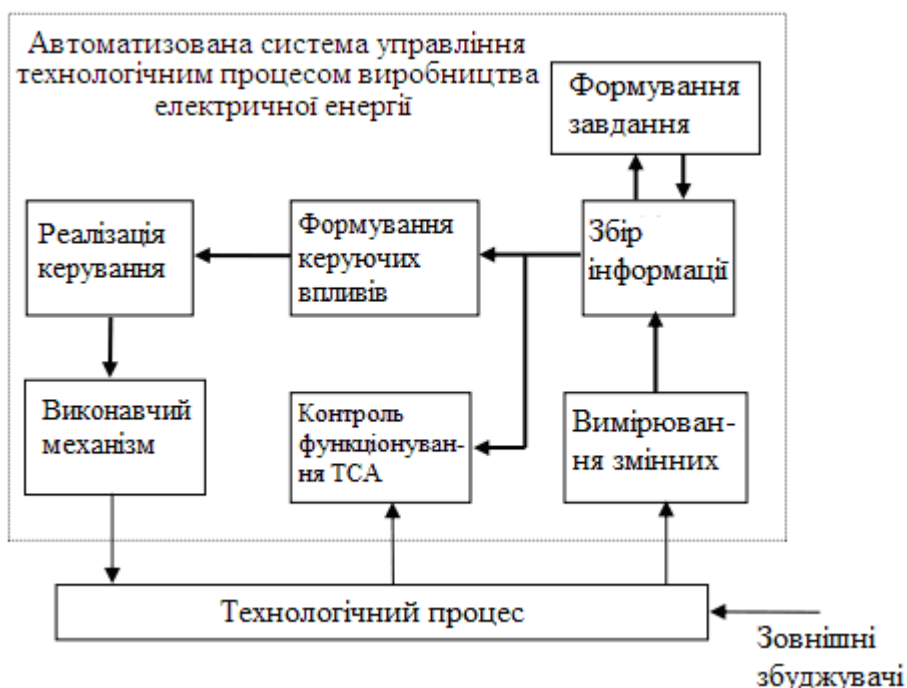


Рисунок 13.1 - Функціональна схема системи управління в загальному вигляді

Систему управління стеження за Сонцем можна представити в загальному вигляді, як показано на рисунку 13.2. 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.

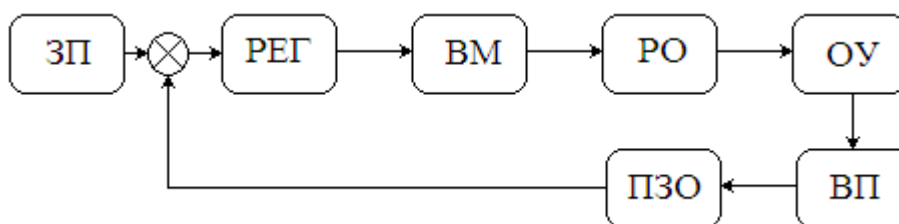


Рисунок 13.2 - Функціональна схема системи управління

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 електро-механічними виконавчими механізмами, вимірювальний перетворювач (ВП) містить датчик положення об'єкта (датчик положення Сонця), датчики струму і температури двигуна, кінцеві вимикачі.

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

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 спостере-

женні 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 позиціонування, 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 13.3). Система стеження має 10-розрядний АЦП.

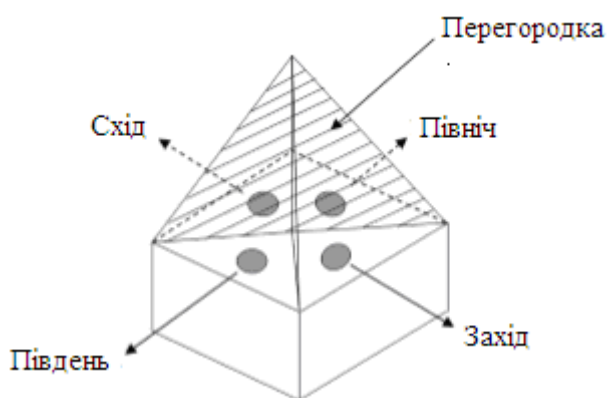


Рисунок 13.3 - Датчик положення Сонця

13.1 Сонячне випромінювання і його особливості

Джерело сонячного випромінювання – Сонце, яке має зразковий радіус в 695300 км. і маси близько 2×10^{30} кг. Температура поверхні Сонця – близько 60000 °С, усередині Сонця – близько 400000000 °С. Протягом року Сонце випромінює в космічний простір близько $1,3 \times 10^{24}$ кал. Земля рухається довкола Сонця по еліптичній орбіті з ексцентриситетом. При цьому її вісь обертання постійно нахилена до площини її обертання довкола Сонця на $66^{\circ}33'$ або $66^{\circ}55'$. 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 13.4. Представлена на ній крива показує середній час в дійсний полудень (максимум висоти центру Сонця над горизонтом).

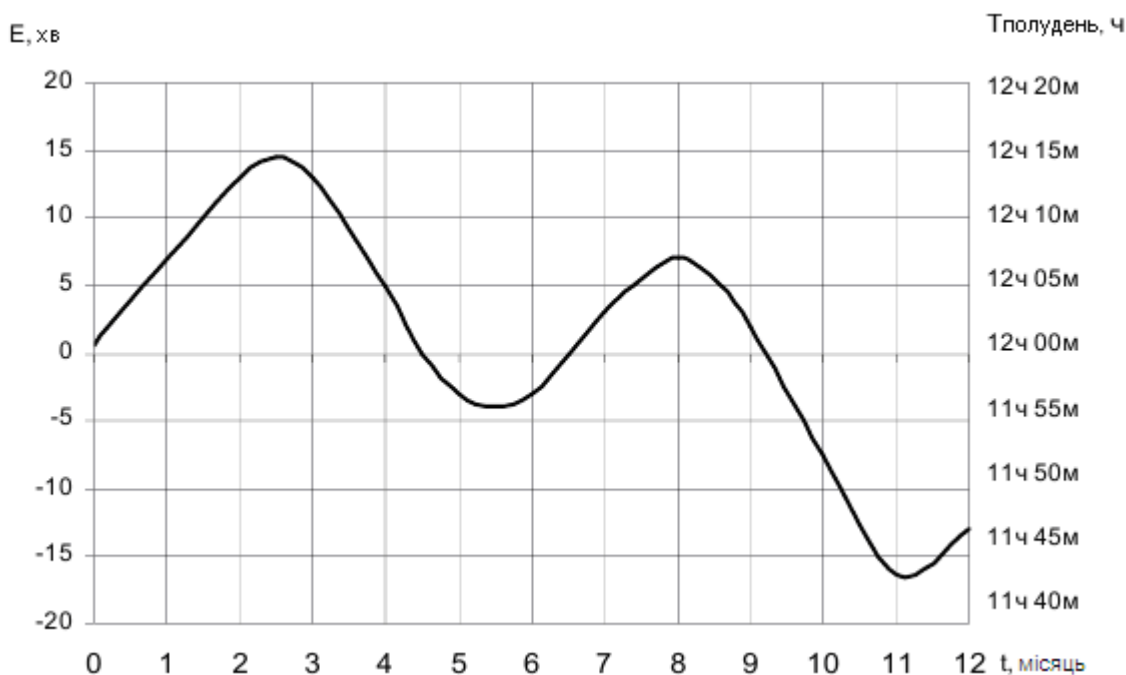


Рисунок 13.4 - Графік рівняння часу

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 $1,3 \times 10^6$ раз перевищує об'єм Землі. Сонце випромінює в кожен момент часу в космосі близько 4×10^{23} кВт, з яких на Землю приходить всього біля $0,25 \times 10^9$ 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 $(0,85-1,2) \times 10^{14}$ кВт або $(7,5-10) \times 10^{17}$ кВт·ч/год при середньому питомому вступі сонячного вилучення 200–250 Вт/м² або 1752-2190 кВт·ч/м²·год. При цьому діапазон питомого приходу сонячного вилучення на Землю міняється вельми значно, як в часі, так і по її території: (170-1000) Вт/м² або $(17-100) \times 10^4$ кВт·ч/км². Прихід всіх інших видів енергії складає всього 19 кВт/км², що говорить про величезні можливості сонячного вилучення на Землю.

13.2 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.

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.

13.3 Трекери фотоелектричних 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.

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 системах 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.

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 протя-

гом 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 вертикально (рис. 13.5). 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.

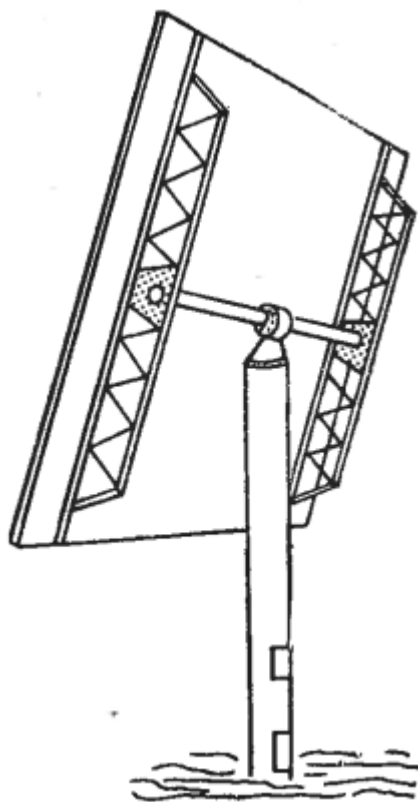


Рисунок 13.5 - Азимутна стежача система

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.

13.3.1 Управління пристроєм стеження за сонцем за допомогою двох фотоприймачів

Загальна схема трекера на фотоелементах наведена на рисунку 1.6.



Рисунок 13.6 – Трекер на фотоелементах

Такий пристрій має два або більше фотодіодів. При русі сонця освітленість фотодіодів стає різною, пристрій аналізує освітленість і передає керуючі 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 13.7.

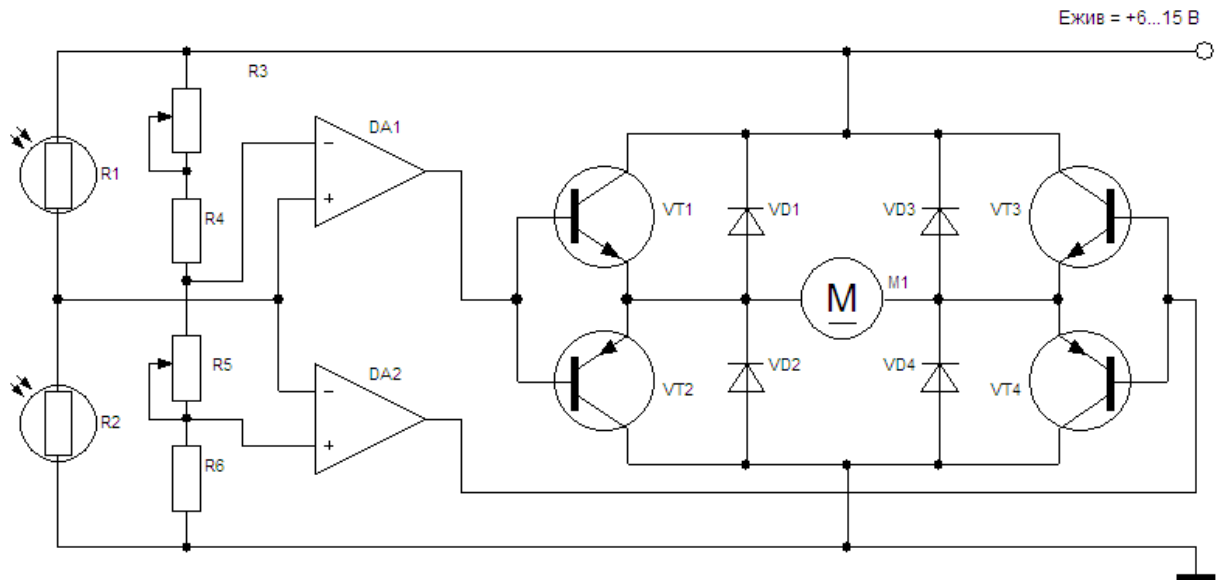


Рисунок 13.7 – Схема пристрою стеження на фоторезисторах

Для визначення позиції сонця у конструкції використовуються два фоторезистора (рис. 13.8). Мотор включений за схемою Н-моста, який дозволяє комутувати струм до 500 мА при напрузі живлення 6...15 В. У темноті пристрій також працюватиме і повертатиме мотор на найбільш яскраве джерело світла. Схема містить мікросхему операційного підсилювача LM1458 (К140УД20), транзистори ВD139 (КТ815Г, КТ961А) і ВD140 (КТ814Г,КТ626В), фоторезистори, діоди 1N4004 (КД243Г), резистори і підстроєчні резистори.

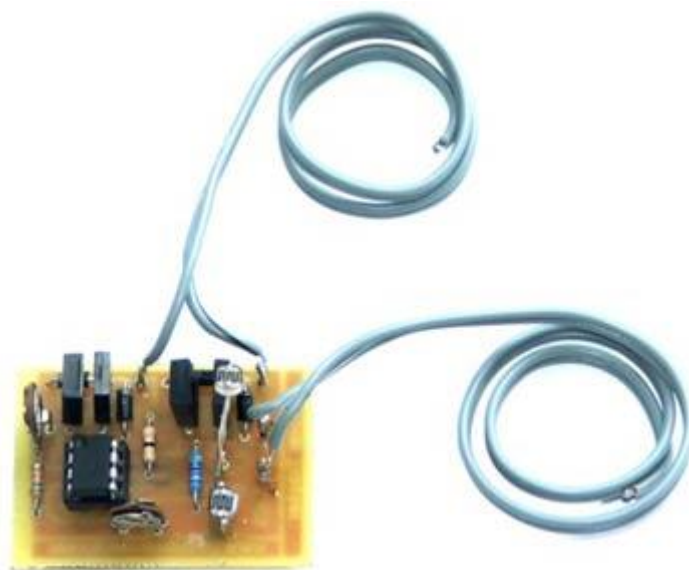


Рисунок 13.8 – Конструкція пристрою стеження за сонцем

Мотор М наводиться в рух при різних значеннях на виходах операційних підсилювачів (ОП) DA1, DA2 (табл 13.1).

Таблиця 13.1 – 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 13.9.

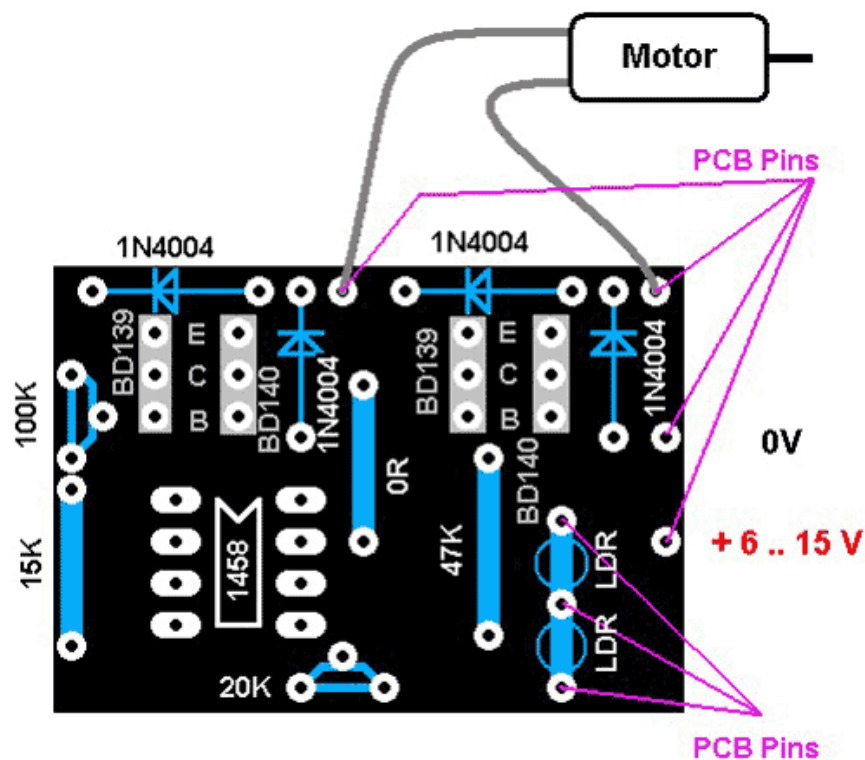


Рисунок 13.9 - Печатна плата пристрою

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.

13.3.2 Управління згідно азимутальних і зенітних кутів

Для правильного позиціонування 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. 13.10) 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.

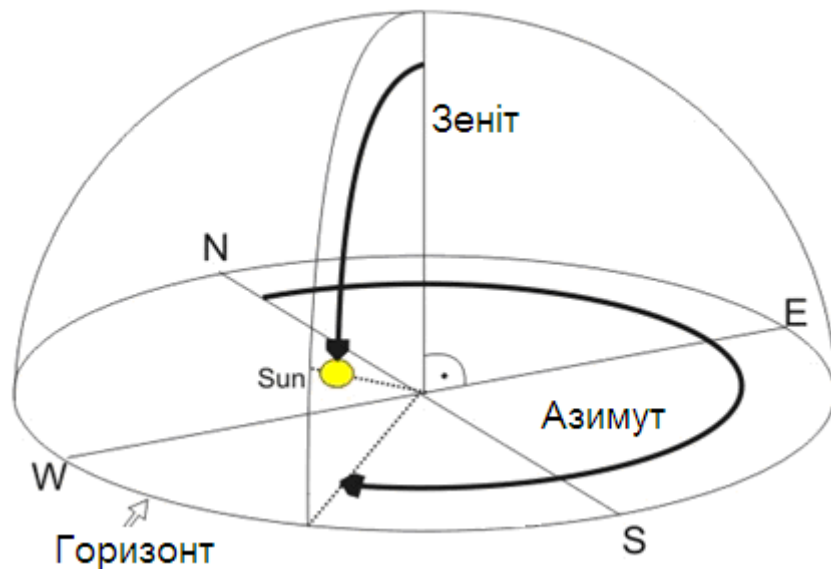


Рисунок 13.10 – Схема визначення положення Сонця за азимутом і зенітним кутом

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.

13.3.3 Система стеження за сонцем моделі HS-1500

Однокоординатна система стеження за сонцем моделі HS-1500 (рис. 13.11) має додаткову вихідну потужність, яка досягає 40 % в порівнянні з

фіксованою установкою. Загальна площа під модулі 15 м², до 2.5 кВт, споживана потужність до 1,25 кВтч/год).



Рисунок 13.11 - Система стеження за сонцем моделі HS-1500

Схемне рішення (рис.13.12) включає три датчики. Позиція датчиків - дозволяє цій системі відстежувати сонце.

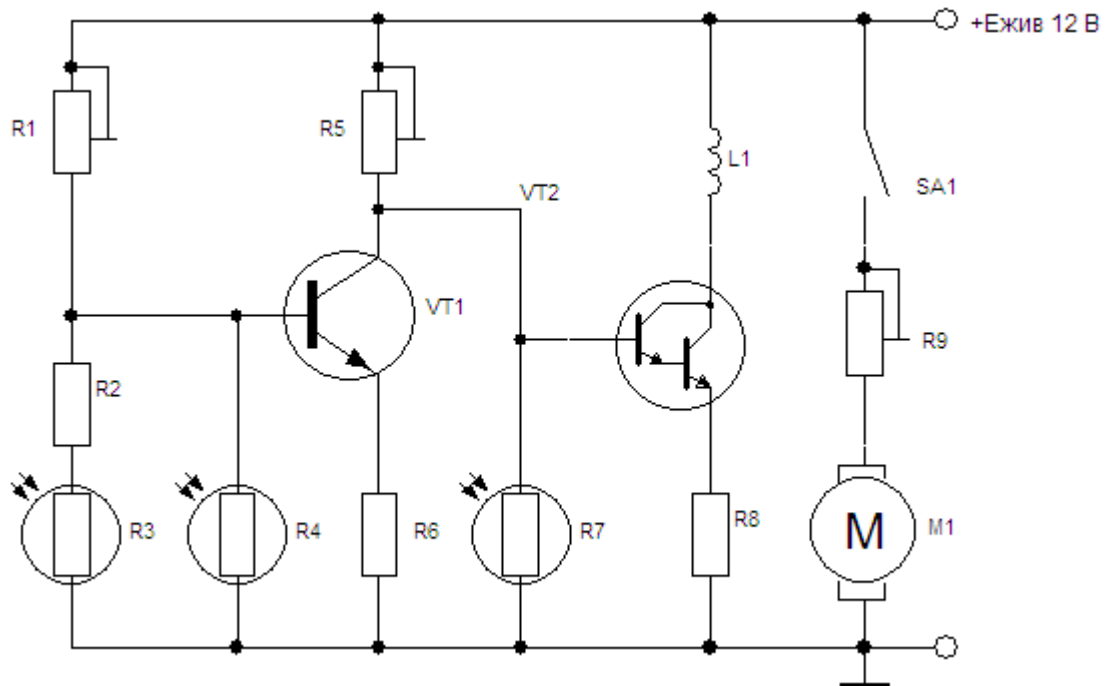


Рисунок 13.12 - Принципова схема трекера модели HS-1500

Датчик 3 розташований на лицьовій стороні панелі і безпосередньо освітлений сонцем (рис.13.13). Коли сонце перестає його освітлювати, збільшується напруга на базі транзистора Дарлінгтона і вмикається електродвигун.

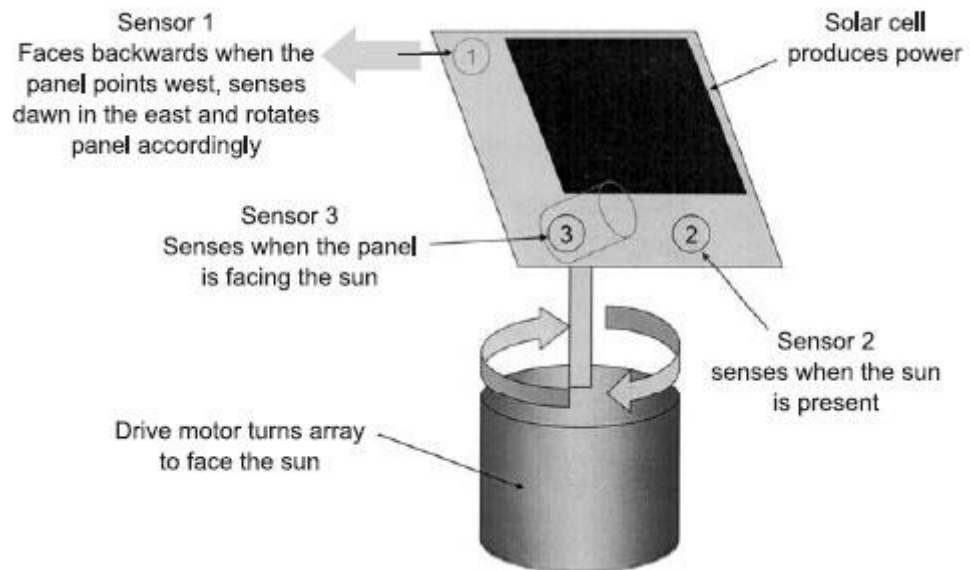


Рисунок 13.13 – Позиціювання трекера моделі HS-1500

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.