

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ**  
**СУМСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**

**Кафедра електроніки і комп'ютерної техніки**

**ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА**

**ДО ВИПУСКНОЇ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ МАГІСТРА НА ТЕМУ:**

**«Електронна система керування трекером автономної сонячної  
електростанції»**

**Завідуючий кафедри**

**Опанасюк А.С.**

**Консультант з  
техніко-економічної частини**

**Маценко О.М.**

**Дипломний керівник**

**Опанасюк А.С.**

**Виконав студент гр. ЕСм-71**

**Шутько Ю.С.**

**Суми 2018**

## ЗМІСТ

ВСТУП.....	4
1 КЛАСИФІКАЦІЯ І ОСОБЛИВОСТІ СОНЯЧНИХ ТРЕКЕРІВ .....	6
1.1 Причини до застосування сонячних трекерів .....	6
1.2 Класифікація сонячних трекерів .....	12
1.3 Будова сонячного трекера .....	19
1.4 Способи управління системою орієнтації трекера.....	22
1.5 Огляд існуючих рішень .....	26
1.6 Постановка задачі проектування.....	30
2 РОЗРОБКА СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ТРЕКЕРОМ.....	32
2.1 Розробка алгоритму функціонування пристрою .....	32
2.2 Розробка структурної схеми пристрою .....	32
2.3 Розробка функціональної схеми пристрою .....	34
2.4 Вибір елементної бази .....	38
2.5 Розробка схеми електричної принципової .....	51
3 НАУКОВО – ДОСЛІДНИЦЬКА ЧАСТИНА .....	59
3.1 Зняття вольт-амперної характеристики сонячної батареї.....	59
3.2 Проведення основного експерименту.....	62
4 ТЕХНІКО – ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА.....	68
4.1 Розрахунок економічного ефекту проектованого пристрою.....	68
4.1.1 Розрахунок повної собівартості розроблюваного пристрою.....	68
4.1.2 Визначення ціни приладу .....	73
4.1.3 Визначення річних витрат користувача.....	74
4.1.4 Розрахунок повної ціни користувача. ....	76
4.1.5 Оцінка конкурентоспроможності проектного приладу. ....	76
ВИСНОВОК.....	79
СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ.....	80

					<b>ЕЛІТ 8.171.00.10.206 ПЗ</b>			
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата	Система керування трекером автономної сонячної електростанції. Пояснювальна записка	Літ.	Аркуш	Аркушів
Розроб.	Шутько Ю.С.					3	82	
Перевір.	Опанасюк А.С.							
Т. Контр.								
Н. Контр.	Гапич В.М.							
Затверд.	Опанасюк А.С.				<b>СумДУ, гр. ЕСМ-71<sup>3</sup></b>			

## ВСТУП

Переважає більшість сонячних панелей встановлюються під визначеним кутом до горизонту на нерухому опорі і орієнтуються на південь. Подібний спосіб установки має безперечні переваги - простоту, дешевизну і надійність. Однак не варто забувати, що Сонце не висить нерухомо цілодобово в одній і тій же точці небосхилу, а переміщується за дугою зі сходу на захід. При цьому відбувається зміна рівня освітленості сонячної панелі. Чим більший кут між напрямом на Сонце і перпендикуляром до площини панелі, тим менша енергія світла потрапляє на фотоелементи. Відповідно, кількість електроенергії, що виробляється протягом світлового дня зростає від нуля у передсвітанковий час до максимуму опівдні, а потім знову знижується до нуля на заході сонця. Крім того, слід враховувати, що протягом року також відбувається зміна висоти Сонця над обрієм опівдні, досягаючи максимуму в день літнього сонцестояння і мінімуму в день зимового.

В цілому, в результаті відхилення падіння сонячних променів від перпендикуляра до площини фотоелектричного перетворювача, загальна кількість світлової енергії, що потрапляє на панель за добу становить від 40 до 70% від можливої. Суттєво збільшити кількість енергії, що потрапляє на сонячну батарею, можна за допомогою нескладного пристрою, який називається сонячним трекером. Сонячним трекером називають електромеханічний пристрій, який відстежує положення Сонця на небосхилі і повертає фотоелектричну панель слідом за його переміщенням. Живлення трекера забезпечується електроенергією, що виробляє сонячна батарея.

Сонячні трекери поділяють на одно- і двокоординатні. Перші виконують поворот фотопанелі тільки для відстеження переміщення Сонця зі Сходу на Захід або ж враховують тільки сезонну девіацію висоти сонячної траєкторії над горизонтом. Двокоординатні стежать за Сонцем в обох площинах.

Очевидно, що двокоординатні трекери гарантують найкращий рівень уловлювання сонячної енергії круглий рік (99,5% і вище від можливої), тоді як управління панеллю в одній площині дасть максимум енергії тільки в певний сезон, в результаті річна сумарна ефективність сонячної батареї становить близько 75-80% від можливої. В ідеалі, для отримання максимального ККД фотоперетворювачів, трекер повинен встановлюватися на всі без винятку панелі. Однак, це не відбувається з кількох причин: трекер нехай незначно, але підвищує вартість системи; він ускладнює конструкцію, отже знижує її надійність. Це не так критично для малих електростанцій, де власник цілком може раз на місяць-

другий усувати несерйозні несправності, але на великих сонячних електростанціях знадобиться утримувати штат співробітників для постійного обслуговування і ремонту пристрою; наявність рухомих деталей вимагає періодичного обслуговування навіть за відсутності поломок; рухоме кріплення панелі істотно знижує її вітрову стійкість. Виходячи з цих особливостей, можна підкреслити, що сонячні трекери дуже вигідні в загальному випадку для малих домашніх сонячних електростанцій, що не розташовуються в вітряних районах. Це нескладний пристрій здатний підвищити вироблення електроенергії на 30-40% [1].

# 1 КЛАСИФІКАЦІЯ І ОСОБЛИВОСТІ СОНЯЧНИХ ТРЕКЕРІВ

## 1.1 Причини до застосування сонячних трекерів

Енергетична криза є одним з найбільш важливих викликів сучасного світу. Звичайні енергетичні ресурси обмежені і одна з основних причин забруднення навколишнього середовища, тому використання поновлюваних джерел енергії стає все більш популярним [1].

Економічний розвиток промислово розвинених країн і експоненціальний ріст населення значно збільшили використання електричної енергії в останні роки [2].

Сонячна енергетика – перспективна галузь альтернативної енергетики, яка швидко розвивається. Це практично невичерпний, поновлюваний ресурс, що дозволяє виробляти цілком чисту екологічно електроенергію взагалі без збитку для природи і без будь-яких залишкових явищ [3].

Сонце є потужним джерелом енергії, і цю сонячну енергію можна успішно використовувати, застосовуючи сонячні фотоелектричні елементи і фотоелектричний ефект для перетворення світлової енергії в електричну. Але ефективність перетворення звичайної фотоелектричної комірки низька. Одна з основних причин цього полягає в тому, що вихідна потужність фотоелемента безпосередньо залежить від інтенсивності світла, і, якщо положення Сонця на небі постійно змінюється, ефективність поглинання його нерухомою сонячною панеллю буде значно меншою від максимальної. В певний час дня і року, коли вони перпендикулярні променям Сонця, сонячні фотоелектричні елементи бувають максимально продуктивними, однак вони менш продуктивні в інших випадках [1].

Сонячні батареї збирають сонячну радіацію від сонця і активно перетворюють цю енергію в електрику. Сонячні батареї звичайно складаються з декількох окремих сонячних елементів. Ці сонячні елементи функціонують аналогічно великим акумуляторним батареям [2].

Сонячні панелі – один з найголовніших і важливий компонент, що використовується при конструюванні фотоелектричних систем різного призначення. Фотоелектричний модуль - це пристрій, який генерує електричну енергію та конструктивно представляє собою об'єднані і з'єднані електрично між собою сонячні фотоелектричні елементи, який за допомогою вихідних дротів віддає вироблений струм до зовнішнього навантаження (рис. 1.1). Сонячну

панель можливо використовувати в складі сонячних електростанцій для поставки і генерації електроенергії комерційним і житловим приміщенням [4].

Найголовніші переваги застосування сонячних батарей пояснюються їх особливостями конструкції: вони відрізняються високою завадостійкістю, стабільністю електричних характеристик, а відсутність в їх складі частин, які рухаються, робить їх довговічними, зменшуючи практично до нуля використання коштів на підтримку в нормі технічного стану виробу.



Рисунок 1.1 – Зображення типової сонячної батареї на прикладі KDM KD-P50

Як відомо, сонячні панелі мають максимальний ККД в тому випадку, коли вони розташовані перпендикулярно падаючим на них сонячним променям. Але сонце переміщується за небосхилом, як результат, стаціонарно встановлені панелі через це втрачають частину своєї ефективності (рис. 1.2) [5].

Графік, наведений на рисунку 1.2 показує залежність величини втрат при виробництві електроенергії сонячними батареями від величини кута відхилення від оптимального положення площини панелі. З графіка залежності видно, що трекер при точності  $\pm 5^\circ$  забезпечує панель уловленням більше 99,6% енергії прямо падаючих променів та 100% розсіяного світла.

Враховуючи особливості щоденного переміщення сонця, можна зауважити, що найефективніший кут орієнтації панелей становить приблизно  $150^\circ$ . Панель, що фіксується у напрямі посередині між точками заходу та сходу

сонця, втрачає до 75% максимального можливого вироблення енергії вранці та ввечері.

На додаток до щоденного руху в напрямі із заходу на схід, сонце додатково здійснює сезонний рух південь – північ - за рік це близько  $46^\circ$  (рис. 1.3). Орієнтуючи панель на середню точку річної траєкторії переміщення Сонця в напрямі північ-південь, втрата генерації від максимально можливої кількості становитиме близько 8,3-9%.

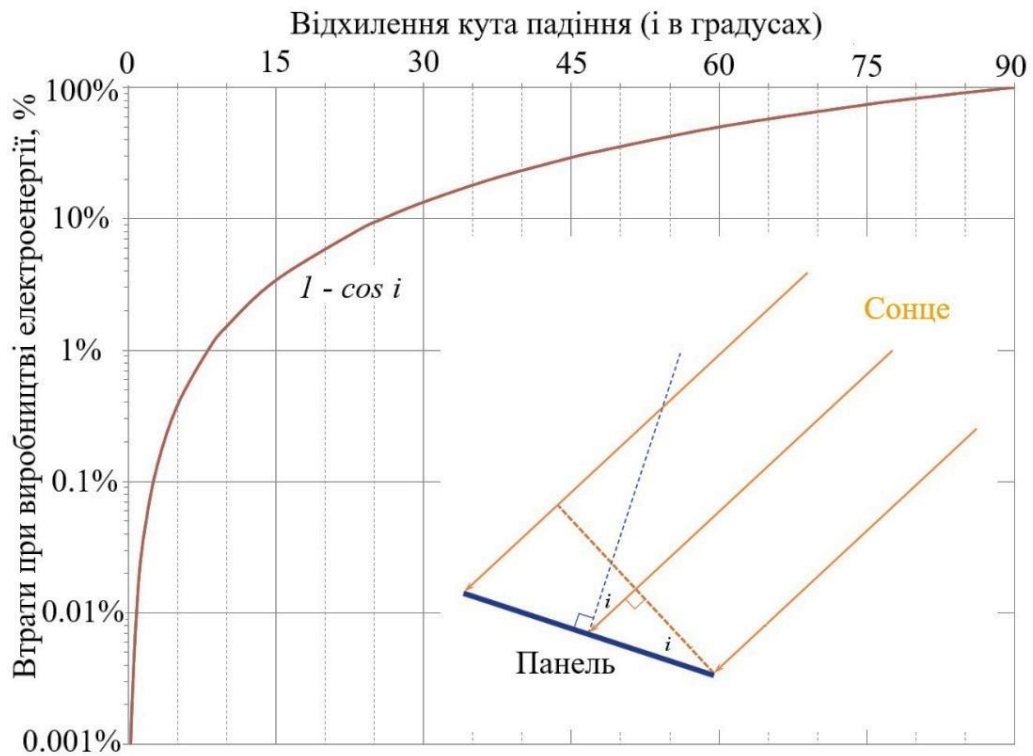


Рисунок 1.2 – Графік залежності втрат при виробництві електроенергії від відхилення кута падіння сонячних променів  $i$

**Сонячне схилення.** Кут, який сонячні промені утворюють з екваторіальною площиною, називається кутом схилення (рис. 1.4). Цей кут є сонячним схиленням. У будь-який день  $\delta$  приймається за константу, яка змінюється на наступний день. Емпіричне співвідношення Купера для розрахунку кута сонячного схилення (в градусах):

$$\delta = 23,45 \cdot \sin \left( (284 + d) \cdot \frac{360}{365} \right), \quad (1.1)$$

де  $d$  – день року ( $1 \leq d \leq 365$ ).

Сонячне схилення також можна визначити як кут між лінією, що з'єднує центри Сонця і Землі, і її проекцією на екваторіальну площину. Схилення Сонця змінюється в основному за рахунок обертання Землі навколо своєї осі. Його максимальне значення складає  $23,45^\circ$  21 грудня, а мінімальне -  $23,45^\circ$  21 червня [6].

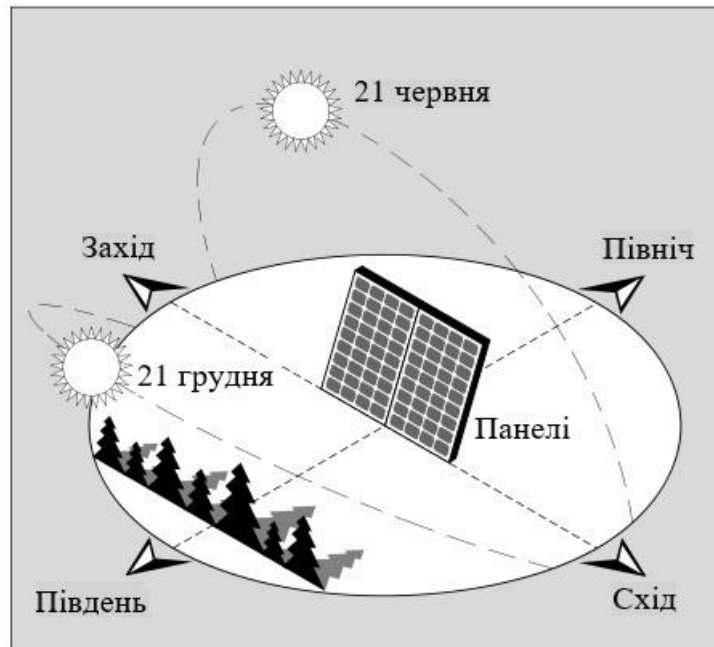


Рисунок 1.3 – Зміна положення Сонця в залежності від пори року



Рисунок 1.4 – Кут сонячного схилення

це міра кутового зміщення Сонця, на яке Земля повинна обертатися, щоб привести меридіан місця безпосередньо під Сонцем. На світанку значення  $\omega$  буде максимальним, потім воно буде повільно і неухильно зменшуватися і буде продовжувати зменшуватися з часом до сонячного полудня. У цей момент  $\omega$  стає рівним нулю. Він починає збільшуватися в момент після сонячного полудня і буде максимальним на заході. Значення на сході й заході числово збігаються, але



мають протилежні знаки. Даний кут дозволяє визначити час, що минув з моменту останнього проходу небесного тіла по меридіану спостерігача для позитивного часового кута, або час, для наступного переходу, що очікується, для негативного часового кута (1 година =  $15^\circ$ ) [6], детальніше див. на рисунку 1.5.

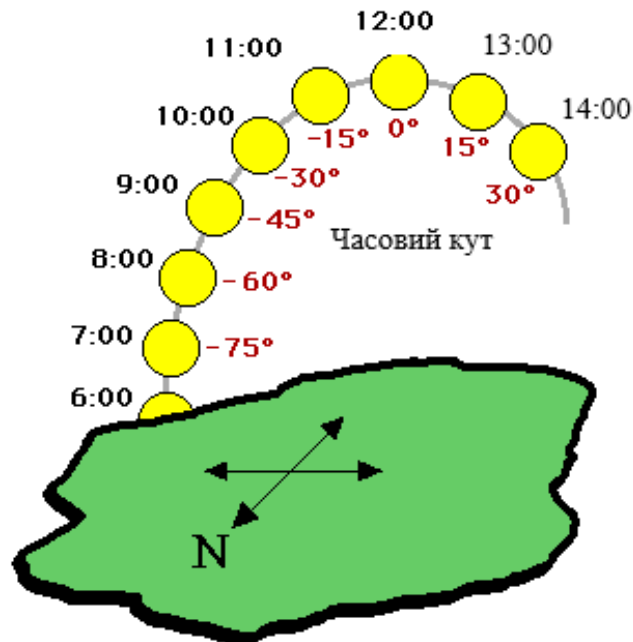


Рисунок 1.5 – Часовий кут

**Широта ( $\phi$ ) і Довгота ( $Lt$ ).** Широта  $\phi$  вказує місце розташування об'єкту на Землі, тобто на північ або південь від екватора. Широта - це кутове вимірювання його положення в діапазоні від  $0^\circ$  на екваторі до  $90^\circ$  на полюсах ( $90^\circ$  північної широти або  $90^\circ$  південної широти) для північного та південного полюсів, показаних на рисунку 1.6.

На Землі меридіан ( $Lt$ ) - уявна лінія, що йде від Північного полюсу до Південного полюсу, яка з'єднує всі місця з визначеною довготою. Позиція на меридіані визначається широтою, кожна з яких перпендикулярна всім колам широти в точках перетину. Меридіан, що проходить через Грінвіч (Англія), вважається головним меридіаном, всі місця на цьому меридіані мають однакову довготу. Землю можна розділити на дві частини з посиланням на перший меридіан, а саме східні та західні півкулі. Максимальний віддалений меридіан з обох сторін може бути від  $0^\circ$  до  $180^\circ$  від головного меридіана [6].

**Кут нахилу ( $\beta$ )** - це кут між площиною Сонця і горизонталлю. Якщо панель лежить рівно на землі, то він дорівнює  $0^\circ$ . При нахиланні панелі, цей кут

збільшується. В загальному випадку панель повинна бути повернута на екватор для отримання максимальної енергії від Сонця.

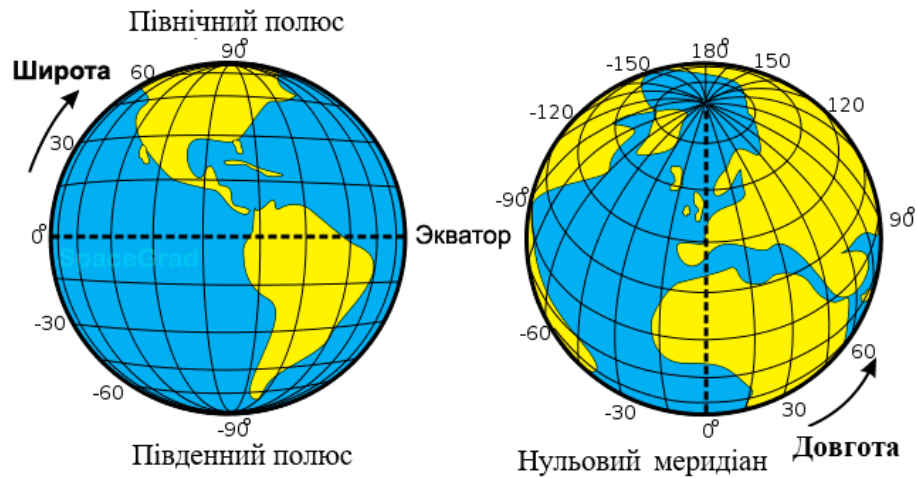


Рисунок 1.6 – Широта ( $\varphi$ ) і Довгота ( $Lt$ )

Щоб підвищити ефективність сонячних елементів, використовують трекери - спеціальні пристрої, які повертають панелі «слідом» за Сонцем (рис. 1.7).

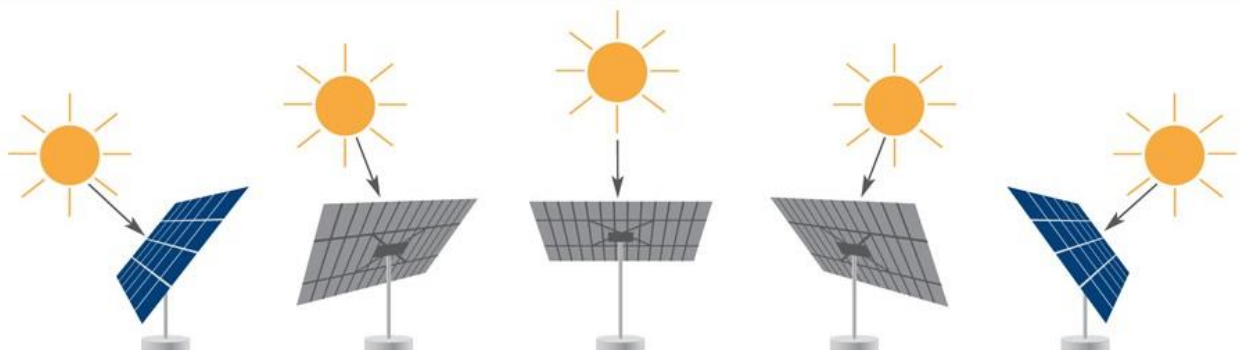


Рисунок 1.7 – Обертання сонячної панелі за сонцем за допомогою трекера [7].

При порівнянні результатів використання статичної системи і системи, забезпеченої трекером, було виявлено, що ефективність сонячних панелей може бути значно збільшена, якщо сонячні панелі постійно будуть обертаються в напрямі Сонця [8].

Сонячний трекер - це сенсорна система, яка стежить за рухом Сонця, коли воно рухається зі сходу на захід протягом всього дня. Як правило, сонячні трекери можна розділити на дві групи: одноосьові і двохосьові. Сонце рухається

зі сходу на захід за фіксованою траєкторією на певну довготу кожен день. Але сонце зміщується на  $46^0$  градусів ближче до півночі або півдня під час сезонних змін. Двохосьовий сонячний трекер може враховувати як денний, так і сезонний рух сонця. Таким чином, двухосьовий сонячний трекер більш ефективний, ніж одноосьовий сонячний трекер. Концепція трекера гранично проста - за кількома датчикам контролер визначає оптимальне положення сонячної батареї і змушує серводвигун повертати платформу з пристроєм в необхідну сторону [9].

Датчик це інструмент, який виявляє фізичні явища навколишнього середовища, які перетворюються в електричний сигнал [10].

Використання трекера дозволяє збільшити ефективність сонячних панелей на 30-50% за рахунок того, що сонячні панелі повернуті під оптимальним кутом до сонця протягом всього дня. В результаті для отримання необхідної потужності потрібно менше панелей і скорочується вартість кінцевої сонячної установки [9].

## 1.2 Класифікація сонячних трекерів

Трекер вибирається залежно від умов, в яких він буде експлуатуватися. Ці умови включають в себе: широту місцевості, погодні умови, габарити установки, доступну площу для установки та інше [11].

Сьогодні багато зарубіжних і вітчизняних компаній пропонують різні конструкції систем інсталяції фотоелектричних модулів (ФЕМ) в широкому ціновому діапазоні. З запропонованого розмаїття систем можна виділити дві основні групи - статичні і динамічні.

Статичні системи - системи, які забезпечують кріплення ФЕМ та орієнтування на південь під певним кутом (в залежності від регіону).

Динамічні системи (трекери) забезпечують автоматичне орієнтування ФЕМ за кутом до горизонту, за азимутом (напрямом за стороною світу). Як одноосьові так і двухосьові системи широко представлені на ринку [12].

Класифікуються трекери за кількістю і положенню осей обертання (рис. 1.8).

**Трекери з однією віссю обертання** - Single axis trackers (SAT) називаються одновісним. Вісь обертання даного типу трекерів може розташовуватися в будь-яких координатних напрямках і використовувати будь-який алгоритм стеження, наприклад SPA (Solar Position Algorithm). Існує кілька реалізацій одноосьових трекерів. Вони включають в себе трекери з горизонтальною віссю обертання (HSAT), вертикальною віссю обертання

(VSAT), з похилою віссю обертання (TSAT) і с полярно-орієнтованою віссю обертання (PSAT) [13].

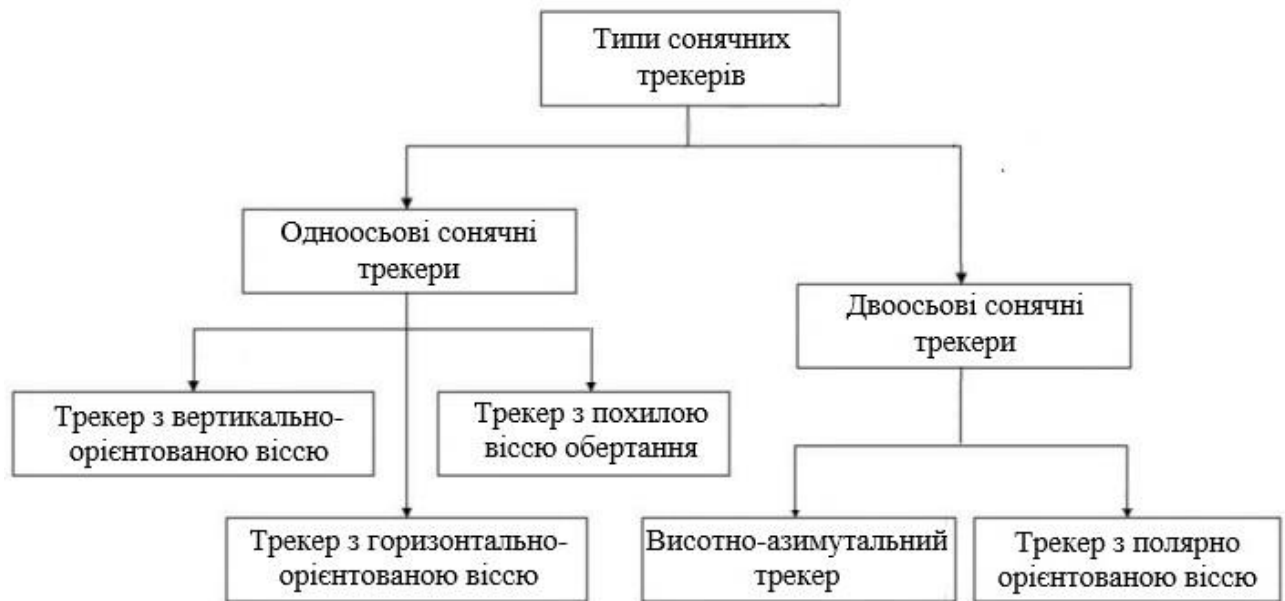


Рисунок 1.8 – Класифікація сонячних трекерів

Особливо розповсюдженими можна вважати одноосьові трекері PSAT. Відомо, що приріст від використання такого трекера знаходиться в межах від 30 до 60 % у порівнянні зі стаціонарним методом встановлення панелі [13].

Одноосьові трекері поділяться на:

1. Трекері з горизонтально орієнтованою віссю - Horizontal single axis tracker (HSAT) мають вісь обертання, розташовану горизонтально відносно до землі. На рисунку 1.9 представлений даний тип трекера.

Поля з HSAT є дуже гнучкими. Проста геометрія вимагає, щоб всі осі обертання були паралельні одна одній. Відповідний інтервал між осями може максимізувати вироблення електроенергії, що залежить і від рельєфу місцевості, тіні і часу доби.

У HSAT довгі горизонтальні труби спираються на підшипники встановлені на пілонах. Осі трубок орієнтовані на лінії північ-південь. Панелі монтуються на трубці, а трубка буде обертатися навколо своєї осі, щоб відстежувати видимий рух сонця протягом дня.

Різновидом трекерів HSAT є трекері, що встановлюються на південних стінах великих об'єктів (будівель) - WHSAT (Wall Horizontal single axis tracker) [11].

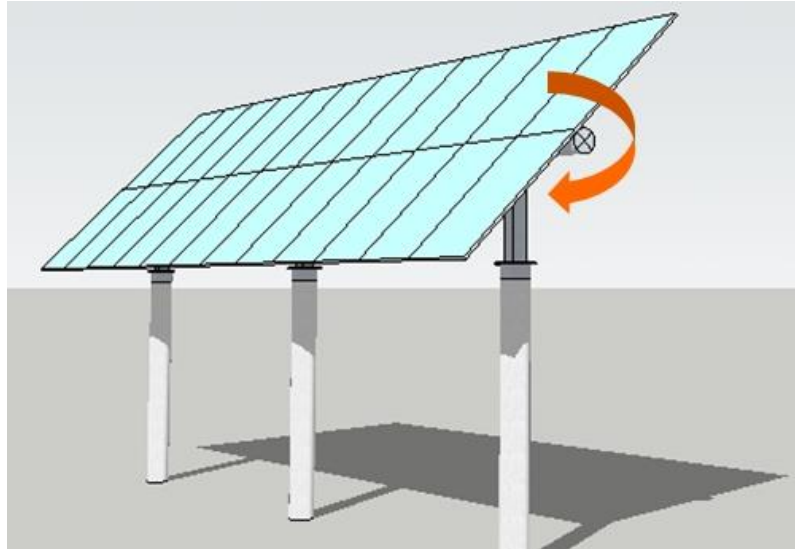


Рисунок 1.9 – Зображення трекера з горизонтально орієнтованою віссю

2. Трекери з вертикальною віссю обертання - Vertical single axis tracker (VSAT), в даному виді вісь обертання вертикальна по відношенню до землі. Подібний трекер зображений на рисунку 1.10. Даний вид трекерів обертається слідом за Сонцем протягом дня. Такі трекери є більш ефективними в високих широтах, ніж HSAT. При побудові полів сонячних батарей з даним типом трекерів також необхідно враховувати затінення від сусідніх рядів, щоб уникнути непотрібних втрат енергії і максимально задіяти доступну робочу площу фотоперетворювачів [11].

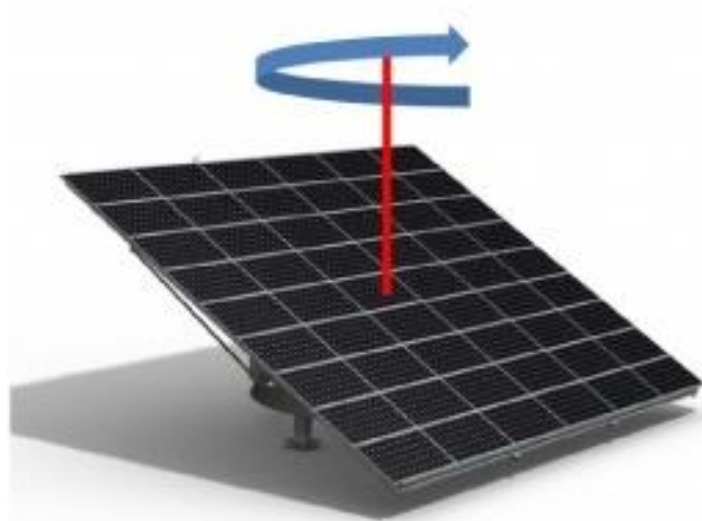


Рисунок 1.10 – Зображення трекера з вертикально орієнтованою віссю

VSAT зазвичай мають конструкцію, орієнтовану під кутом по відношенню до осі обертання, а корисне навантаження (наприклад, фотоелементи) встановлюються на неї.

3. Трекер з однією похилою віссю обертання - Tilted single axis tracker (TSAT), вісь обертання в даних трекерах розташовується між горизонтальною та вертикальною (рис. 1.11).

**Трекер з двома осями, що обертаються** - Dual axis trackers (DAT) або двохосьовий. DAT володіє двома ступенями свободи, що відіграють роль осей обертання. Ці осі, як правило, не пов'язані одна з одною, але працюють разом. Існує кілька загальних реалізацій двохосьових трекерів. Вони класифікуються за напрямом їх основної осі по відношенню до землі. Два найбільш поширених види двохосьових трекерів : TTDAT і AADAT.



Рисунок 1.11 – Зображення трекера з похилою віссю обертання

Трекери, що мають дві осі обертання на несучому стовпі - Tip-tilt dual axis tracker (TTDAT), названі таким чином, тому що масив з панелями монтується на кінці довгого стовпа. Даний трекер представлений на рисунку 1.12. Рух трекера зі сходу на захід управляється поворотом масиву навколо верхнього полюса, на якому закріплений підшипник. В верхній частині обертового підшипника знаходиться механізм, який забезпечує вертикальне обертання панелей і забезпечує основні точки кріплення для масиву панелей [11].

Один з видів двохосьових трекерів це - трекери з полярно орієнтованою віссю обертання - Polar single axis trackers (PSAT), вони вирівнюються за полярною зіркою. У зв'язку з цим їх називають трекерами з полярно вирівняною

віссю (PSAT). У кожному конкретному випадку для PSAT кут нахилу дорівнює широті установки. Це вирівнює вісь обертання трекера з віссю обертання Землі [11].

Рекомендації з установки полів сонячних батарей з TTDAT точно такі ж, як і для будь-яких інших видів або типів трекерів. Осі обертання TTDAT, зазвичай вирівнюються або по північному меридіану або по лінії широти схід-захід.

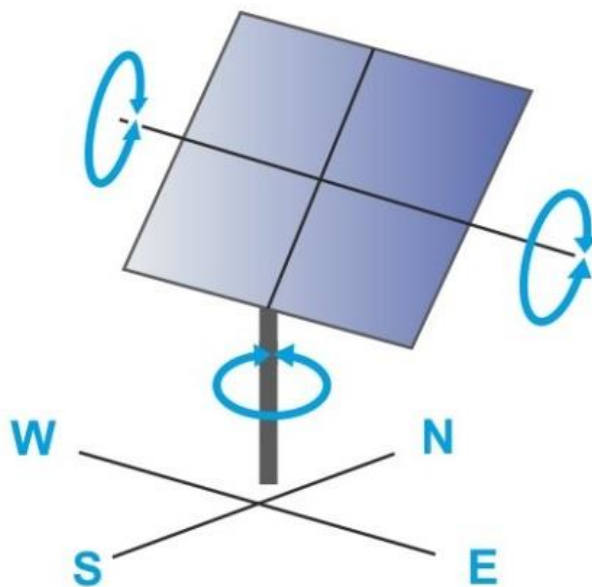


Рисунок 1.12 – Зображення трекера з двома осями обертання

Трекери з двома осями обертання і опорною площиною – Azimuth altitude dual axis tracker (AADAT), в яких головна вісь - вертикальна (представлений на рисунку 1.13). Вони схожі на TTDAT, але відрізняються за способом повороту масиву. Замість обертового масиву навколо верхнього полюса стовпа, AADAT системи зазвичай використовують велике кільце, встановлене на землі або платформі. Вся система встановлюється на ролики або на велику платформу з підшипниками [11].

Основною перевагою такого розташування є те, що вага масиву розподіляється за частинами кільця, на відміну від однієї точки навантаження полюса в TTDAT. Це дозволяє AADAT, на відміну від TTDAT, підтримувати набагато більший масив сонячних панелей або відбивачів, однак, системи AADAT не можуть бути розміщені ближче один до одного, ніж діаметр кільця,

що може привести до зниження щільності забудови прощі, особливо з урахуванням міжтрекерного затінення.

Трекери для сонячних батарей можуть бути відносно недорогими. Це робить їх особливо ефективними для фотоелектричних систем де використовуються дорогі високоефективні панелі.

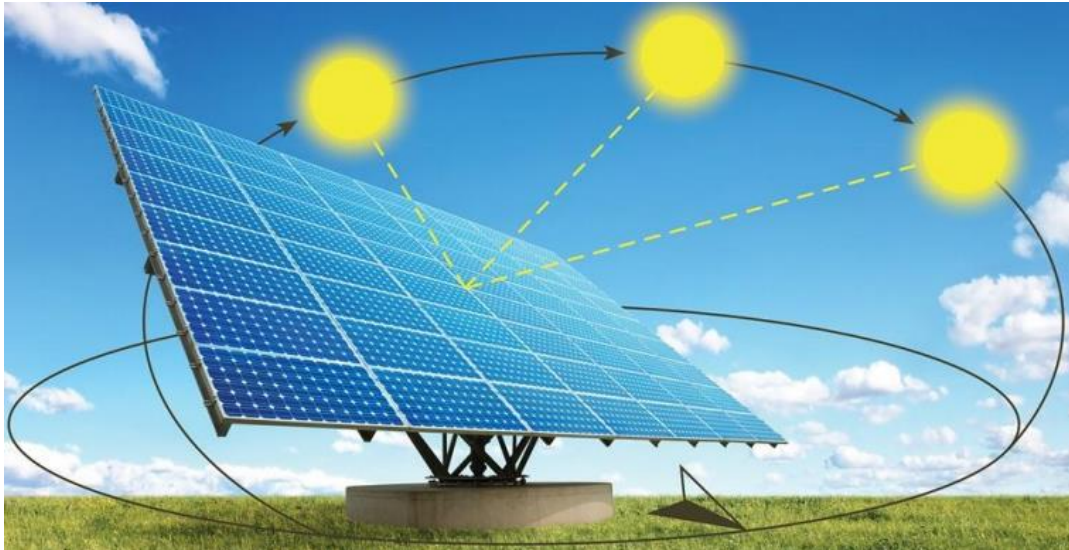


Рисунок 1.13 – Зображення трекера з двома осями обертання і опорною площиною

В основному говорять про плюси від використання будь-яких типів трекерів, але необхідно у різних умовах використовувати свій вид трекерів. Взагалі, двохосьові трекери є більш точними при орієнтації батарей прямо на Сонце, однак, двохосьові трекери коштують дорожче і з часом швидше втрачають свою надійність, ніж одноосьові. З іншого боку одноосьовий трекер пропонує нижчу вартість і більш високу надійність, оскільки є менше факторів, які можуть піти не так при експлуатації системи, яка може, як очікується, працювати 20 років і більше. Якщо розглянути групу двохосьових трекерів в похмурий день, легко побачити їх розосередженими по всім напрямам. Тим часом, в тих же умовах група одноосьових трекерів забезпечить орієнтацію батарей в одному напрямі і виробляти вони будуть приблизно таку ж кількість енергії в годину з набагато меншими втратами (порівняння двохосьового трекера і одноосьового трекера зі статичною системою наведено на рисунку 1.14) [11].

У таких рішеннях також існують недоліки:

– істотні результати досягаються при використанні великої кількості сонячних панелей;



- наявність рухомих частин і шестерень, які потребують вчасного обслуговування;
- важка розробка персонального забезпечення.

Який вибрати тип трекера залежить від того, де буде розташовуватися масив сонячних батарей.. У переважно сонячних областях, таких як пустелі і екваторіальні регіони атмосфера зазвичай ясніше. Ці регіони мають високий "Індекс ясності неба" більший, ніж 0.8 або ще більше [14].

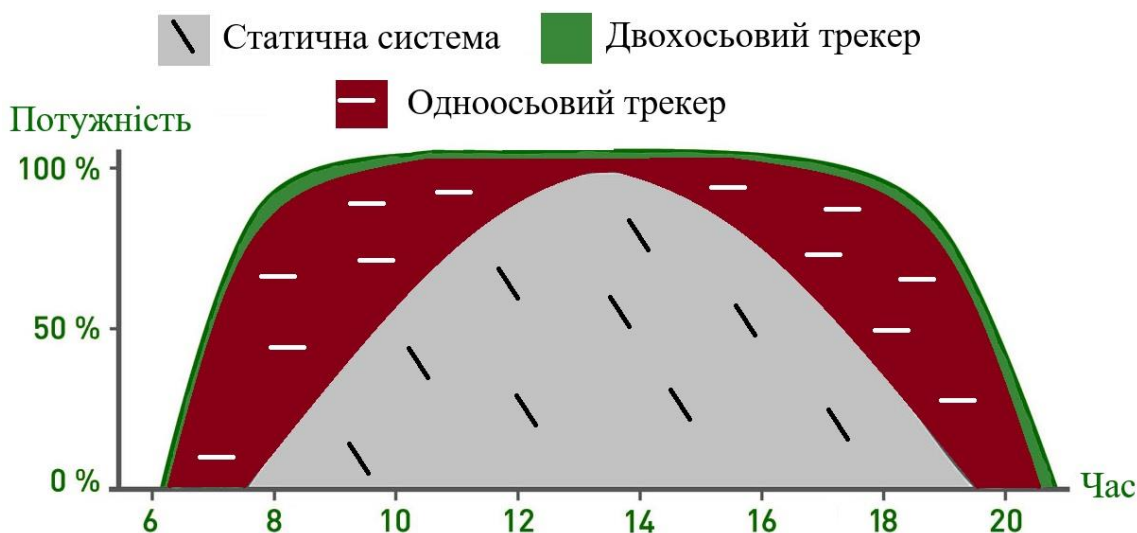


Рисунок 1.14 – Порівняння різних типів трекерів

Наведемо деякі статистичні дані для порівняння різних систем.

Динамічна система кріплення ФЕМ із змінним вручну сезонним кутом нахилу :

- на 27% збільшується необхідна площа ділянки під СЕС по відношенню до статичної системи;
- на 25% збільшується вартість такої системи по відношенню до статичної;
- збільшуються витрати на обслуговування системи (4 людини змінюють кут нахилу ФЕМ за 2 дні на 1 МВт станції і так 2-4 рази на рік).

Передбачуваний приріст генерації електроенергії по відношенню до статичної системи становить 4-5%.

Динамічна система кріплення ФЕМ із змінним кутом нахилу «схід-захід» (одноосьовий сонячний трекер).

- на 30% збільшується кількість ФЕМ наявних на ділянці по відношенню до статичної системи (збільшується встановлена потужність СЕС),

відповідно при дефіциті площі під СЕС, доцільніше використовувати одноосьовий трекер;

- на 5% підвищується «зелений тариф» при виборі системи вітчизняного виробника;
- на 21% збільшується сума надходжень від продажу електроенергії в порівнянні зі статичною системою;
- збільшення сумарних капіталовкладень в СЕС на 19% більше по відношенню до статичної системи.

Передбачуваний приріст генерації електроенергії по відношенню до статичної системи становить 15 - 17% [12].

Індекс ясності неба є мірою того, наскільки прозорим для сонячних променів є небо, як сильно хмари поглинають, відбивають або заломлюють енергію Сонця. При низькій ясності атмосфера землі розсіює світло, як в туманний або похмурий день. Висока прозорість близько 0.8 це дуже сонячний день з невеликим затуманюванням або хмарністю в атмосфері. Тут двовісний трекер виправдовує своє застосування і може підвищити виробництво енергії на 40-45% порівняно з системами з фіксованим положенням, при ідеальному нахилі для даної широти. Але більшість розвинутих країн світу перебувають в помірному кліматі, де індекс ясності неба рідко кращий, ніж 0.5, як, наприклад, в більшій частині Північної Америки, не рахуючи сонячного півдня США.

### **1.3 Будова сонячного трекера**

Типова будова сонячної електростанції при застосуванні трекера наведена на рисунку 1.15.

Взагалі існує велика кількість різноманітних комплектацій сонячних трекерів. До елементів конструкції трекера відносяться:

- фундамент або несуча частина і рухома частина, яка задає осі повороту платформи;
- різні підсистеми, до складу яких входять блок управління, безпеки, стабілізатори, метеостанція, грозозахист;
- пристрої управління рухомою платформою, що складається з двигунів, які ще називають актуаторами (рис. 1.16);
- контролер, призначений для обслуговування і налаштування енергосистеми;

- роутер, який підключений до мережі інтернет для відправки даних моніторингу системи, а також для віддаленого доступу до системи;
- система навігації, яка потрібна для визначення географічного положення панелей. На стаціонарні трекери система навігації встановлюється рідко. Часто при встановленні системи, дані про широту, довготу, висоту над рівнем моря задають вручну.
- інвертор, що здійснює перетворення постійної напруги в змінну [15].

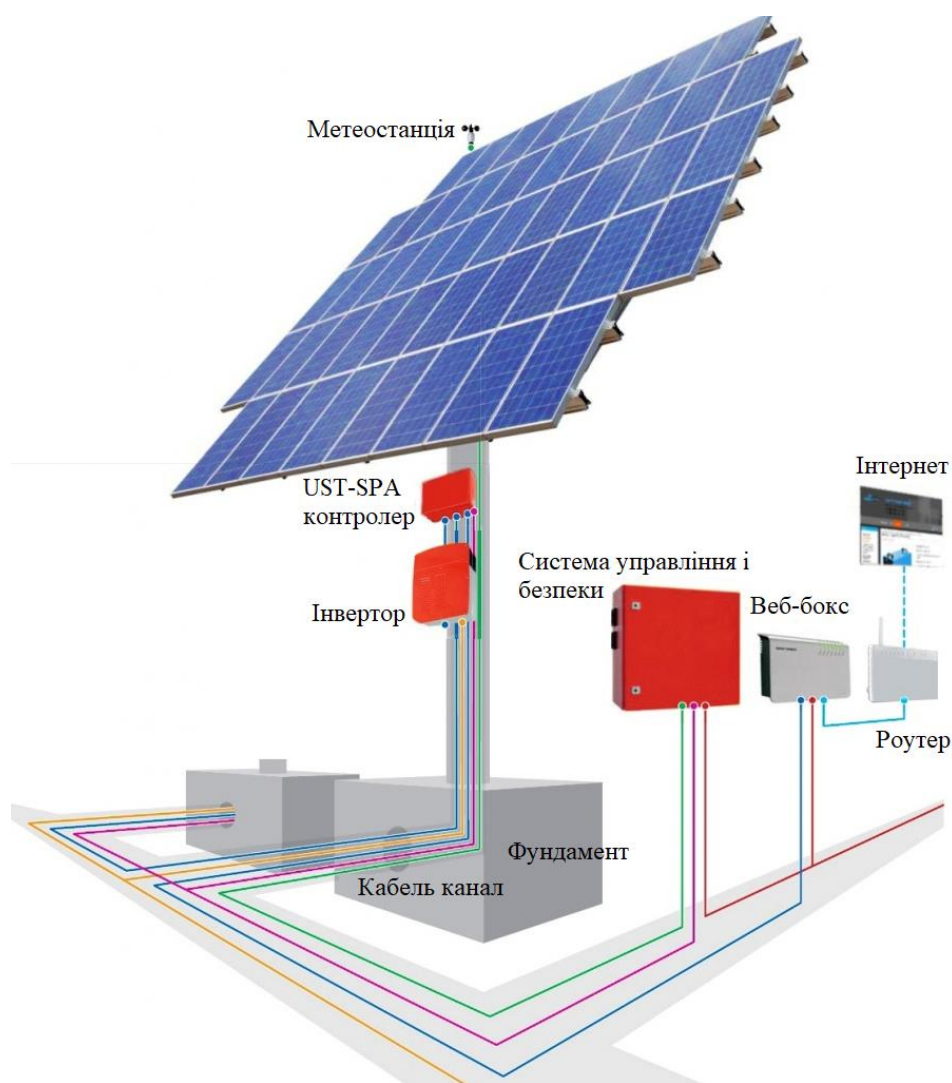


Рисунок 1.15 – Сонячний трекер в повній комплектації

Для здешевлення конструкції сонячної електростанції деякі вищеназвані елементи не встановлюються.

Несуча конструкція трекера повинна забезпечувати можливість її роботи при сильних вітрах. Відомо, що при збільшенні розміру сонячної батареї в такій же мірі повинна збільшуватись і парусність всієї конструкції, і відповідно

навантаження на трекер. Для подолання цього фактору, проводиться збільшення габаритних розмірів всієї конструкції, а навантаження на конструкцію трекера перерозподіляється. Таким шляхом досягається максимальна надійність системи [1].



Рисунок 1.16 – Зображення сонячної панелі з встановленими актуаторами

Для порівняння доцільності використання в кінцевому продукті серводвигуна і крокового двигуна заповнимо таблицю 1.1.

Таблиця 1.1 - Порівняння серводвигуна і крокового двигуна

	Серводвигун	Кроковий двигун
Надійність	Основна кількість сучасних безколекторних двигунів мають високу надійність порівняно з кроковим двигуном	Так як в даному типі двигунів немає елементів, які зношуються, він має більшу надійність

Продовження таблиці 1.1

Ефект втрати кроків	Не спостерігається	Властива втрата кроків при високих навантаженнях
Швидкість переміщення	Швидкість холостого переміщення 0,5-1 м/с	150—300 мм/с
Динамічна точність	Точність до 1-2 мкм і вище	Неузгодженість не перевищує 20 мкм
Вартість	Дорогі датчики положення ротора, більш висока вартість, ніж у крокового двигуна	Порівняно з електродвигунами більш висока вартість

В якості виконуючого ланцюга типового трекера можуть застосовуватись різні типи двигунів : серводвигуни, лінійні, крокові. Кожен з них має недоліки і переваги.

Взагалі, тип двигуна, який використовується в системі залежить від поточних умов розробки сонячної електростанції. Серводвигуни мають дуже високу точність для застосування у трекерах, але вони часто застосовуються наряду з кроковими двигунами.

#### **1.4 Способи управління системою орієнтації трекера**

Щоб досягти максимальну ефективність сонячних батарей потрібно їх точно орієнтувати на Сонце. В даному випадку завданням пристрою спостереження (трекера) є мінімізація кута, під яким промені Сонця опиняються на робочій поверхні сонячних панелей. Орієнтація рухомої частини трекера має

властивість змінюватися при допомозі ручного приводу або при використанні актуаторів – спеціальних пристроїв, які побудовані на базі електродвигунів [16].

Основний механізм сонячної системи стеження складається з пристрою стеження, алгоритму стеження, блоку управління, системи позиціонування, приводного механізму і датчиків. Алгоритм відстеження положення визначає кути, які використовуються для знаходження положення сонячного трекера. Існує два типи алгоритмів - астрономічні алгоритми і алгоритми інтенсивності світла в реальному часі. Астрономічний алгоритм - це чисто математичний алгоритм, заснований на астрономічних посланнях. Алгоритм інтенсивності світла в реальному часі базується на визначенні інтенсивності світла в реальному часі. Блок управління виконує алгоритм стеження і управляє системою позиціонування і приводним механізмом. Система позиціонування управляє пристроєм стеження, щоб зорієнтувати батарею на Сонце під обчисленими кутами. Система позиціонування може бути електричної або гідравлічної. Приводний механізм відповідає за переміщення пристрою стеження в положення, визначене системою позиціонування. Чутливі пристрої являють собою групу датчиків, які вимірюють умови навколишнього середовища, інтенсивність світла в разі алгоритмів інтенсивності світла в реальному часі і кут нахилу трекера (за допомогою інклінометра або комбінації кінцевих вимикачів і датчика двигуна) [17].

Отже, задачею трекера є встановлення кутів нахилу робочої поверхні приладів, шляхом орієнтації її точно на Сонце. Іншими словами, кути падіння сонячних променів повинні бути перпендикулярні площині сонячної батареї.

Системи управління трекером бувають трьох видів:

1. Активна. Переорієнтація панелі на сонячні промені виконується шляхом використання спеціального сенсора. При зіставленні з статичними системами виробництво енергії в таких системах більше на 50%.

2. Пасивна. Орієнтація панелей забезпечується при допомозі сонячного календаря, на 40% більша ефективність ніж у статичної системи [1].

3. Комбінована. Застосовуються для підвищення надійності сонячних трекерів. У стандартному режимі система функціонує, використовуючи алгоритм активної системи. У випадку проблем з датчиком сонячної іррадіації, дана система змінює режим роботи на пасивний. У випадку збільшення сили поривів вітру більше певних значень система керування встановлює фотоелектричний модуль в позицію флюгування (положення мінімального опору потоку повітря).

Також існують системи кріплення ФЕМ без застосування механізації, тобто зміна кута орієнтації ФЕМ відбувається із застосуванням ручної праці. Як правило, ці системи орієнтовані уздовж осі паралелі (система північ - південь) і розраховані на зміну кута орієнтації ФЕМ в залежності від висоти сонця над горизонтом. Передбачається, що кут буде змінюватися від мінімально - 2 рази (зима / літо) до 3-4 разів (зима / весна-осінь / літо) в рік, тобто зміна положення ФЕМ відбувається в зв'язку зі зміною пір року. Теоретично, це рішення життєздатне, оскільки за розрахунками, така система повинна давати 4-5% приросту до річної генерації СЕС [12].

Робота трекерів може бути реалізована на базі декількох концепцій Наведемо основні :

1. Робота актуаторів базується на показаннях декількох фотоприймачів. При цьому такий пристрій має на своєму борту два або навіть більше фотодіодів (рис. 1.17). При переміщеннях Сонця показання освітленості фотодіодів стають різними. Далі електроніка пристрою проводить аналіз освітленості і забезпечує сигналом переорієнтації актуатори до тих пір, поки освітленість на всіх фотоелементах буде однаковою. При отриманні сигналу переорієнтації актуатор змінює положення сонячної батареї у напрямі захід схід тощо [16].

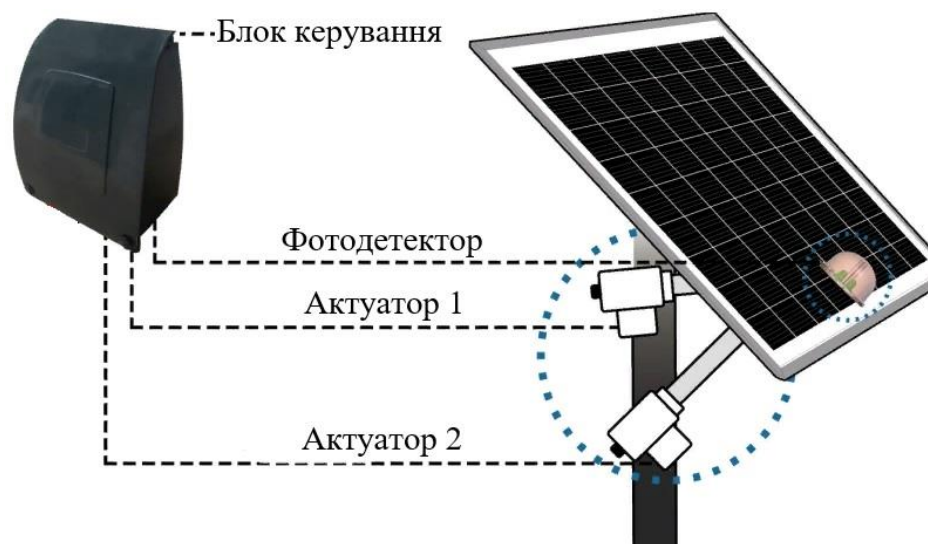


Рисунок 1.17 – Трекер на фотоелементах

Перевагою таких рішень є простота розробки принципової схеми і дешевизна. Але в той же час вони мають недолік: у випадку хмарної погоди, а також при забрудненні поверхні фотодатчиків система працює погано.

2. Управління орієнтацією трекера за допомогою Азимутального і Зенітного кутів.

Принцип роботи цих пристроїв базується на компенсації двох переміщень Землі, для точного позиціонування сонячних батарей:

- щодобового переміщення, що викликає обертання Землі навколо своєї осі;
- щорічного переміщення, що витікає з обертання Землі навколо Сонця.

Такий пристрій має в своєму складі таймер. Актуатори працюють під управлінням добової програми таймера (при необхідності, і річної програми). Слід зауважити, що точність орієнтації трекера при використанні такого виду пристроїв невисока, бо Сонце за рік часто змінює місце заходу, зенітний кут і час заходу [16].

3. Управління актуаторами здійснюється з використанням програми, що в певні моменти часу визначає положення Сонця.

Сонце виконує рухи за небосхилом із сходу на захід. Є дві основні координати, які описують положення Сонця на небі: Зенітний кут і Азимут. Зенітним кутом називають кут між горизонтальною поверхнею і лінією, яка сполучає спостерігача та Сонце. Азимутом є кут між напрямом на південь і Сонцем [18] (рис. 1.18).

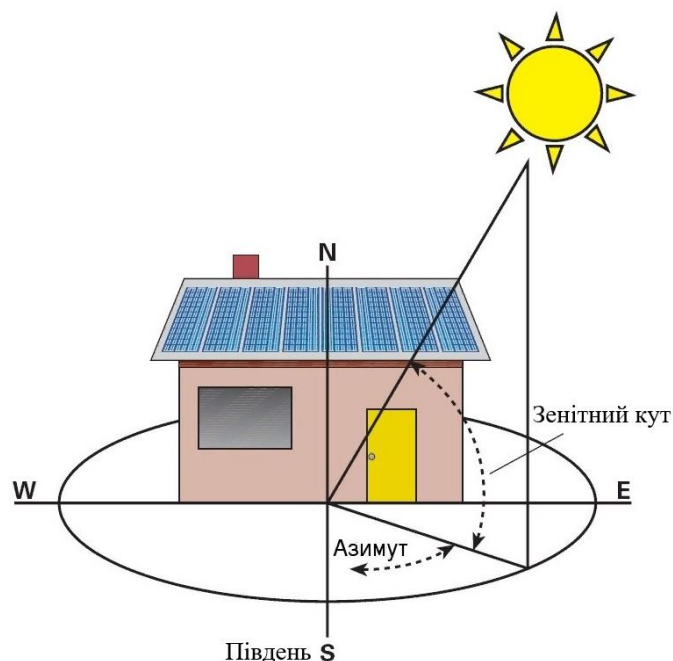


Рисунок 1.18 – Положення Сонця по Зенітному куту і Азимуту [18]



За вбудованим у пристрій годинником програма обробляє інформацію про величину Зенітного кута і Азимута та передає її на блок керування.

При цьому потрібно обов'язково враховувати місцеположення трекера, його широту, довготу, висоту над рівнем моря. Після отримання даних виконується розрахунок нових координат для переорієнтації сонячної батареї на Сонце. Такий спосіб вважається найефективнішим [16].

Кожен із способів управління підходить для різних умов. Для приватного використання підійде ручний спосіб керування зі зміною кута нахилу два рази за рік (навесні і восени). Економічно не вигідно встановлювати трекери для декількох панелей або колекторів. Для великих електростанцій або полів з сонячними батареями актуальний тільки програмний спосіб управління трекера.

## 1.5 Огляд існуючих рішень

Численні автори розробили різноманітні прототипи сонячних фотоелектричних трекерів з метою підвищення продуктивності сонячних елементів. Загалом, усі з них мають нерухому частину конструкції і рухому частину, що складається з обладнання для стеження і обладнання, що виробляє енергію.

Ефективна сонячна система спостереження повинна бути в стані спостерігати за Сонцем з певною точністю, вертати трекер в вихідне положення в кінці дня, а також коректно працювати в умовах похмурого небу [19].

У першій системі використовують датчики освітлення, за допомогою яких визначається найбільш оптимальне положення до сонця [20]. Схему подібної системи зображено на рисунку 1.19.

У цьому проекті двигун постійного струму використовується для переміщення сонячної панелі [21], [22], [23]. Двигун постійного струму з'єднується з шестернями і кріпиться до панелі. Коли двигун обертається, він переміщує панель в залежності від показань датчиків LDR.

Для корекції положення по одній осі застосовуються два світлових датчика, в конкретному випадку фоторезистора. Дані чутливі елементи розташовуються таким чином, що при оптимальній позиції відносно Сонця, показання датчиків були однакові. У випадку неточної орієнтації осі пристрою на Сонце, маємо ситуацію, в якій один з датчиків отримує менше світла. Саме різниця в показаннях датчиків задає напрямок, в якому повинен обертати систему двигун.

За управління системою відповідає Arduino – платформа розробки електронних пристроїв з відкритим кодом, в основному заснована на невеликому, простому у використанні апаратному та програмному забезпеченні [24].

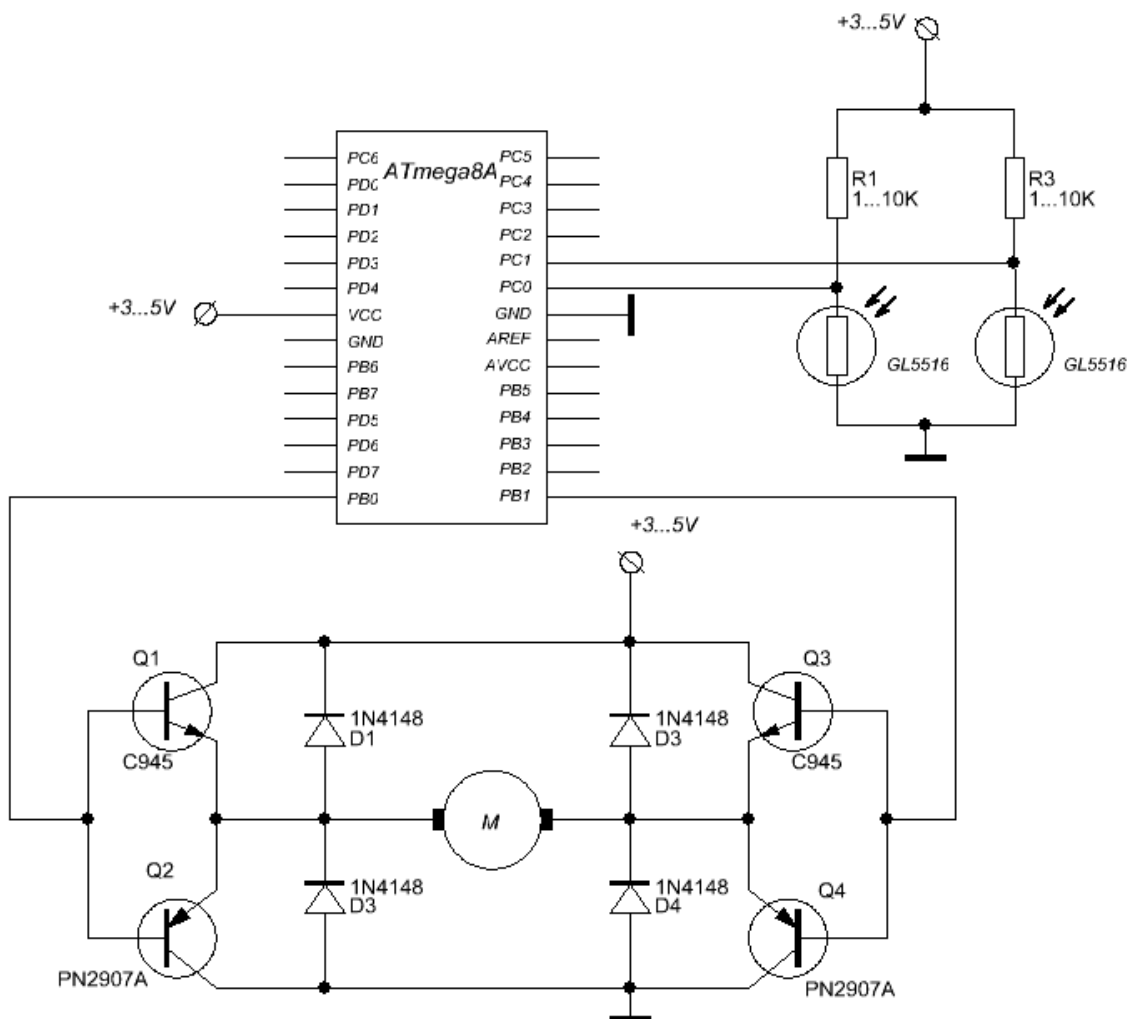


Рисунок 1.19 – Схема системи управління трекером на базі мікроконтролера Atmega8A і фоторезисторів

Для орієнтування по двом осям необхідно зробити два незалежні канали з 4-ма сенсорами.

Цей вид сонячної системи відстеження може бути використаний для ефективного виробництва електроенергії в віддалених будинках, тваринництві, зрошуванні плантацій. Дана система відстеження сонячних батарей може підвищити ефективність від 35% до 60% в залежності від місця розташування та інших параметрів відносно встановленої сонячної системи відстеження [25].

Перевага схеми в тому, що вона не вимагає дотримання точних номіналів резисторів і налаштувань. Недолік – система не дуже ефективна без ретельного

налаштування програмного забезпечення та через низьку чутливість і незавадостійких фоторезисторів.

Друга схема управління працює на базі операційних підсилювачів і фотодатчиків (рис. 1.20), вона запропонована авторами статті [26]. Двигуни підключені за схемою Н-моста (H-bridge), який дозволяє комутувати струм до 500 мА при напрузі живлення 6-15В. У темряві, пристрій також працездатний і буде повертати моторчик на найбільш яскраве джерело світла.

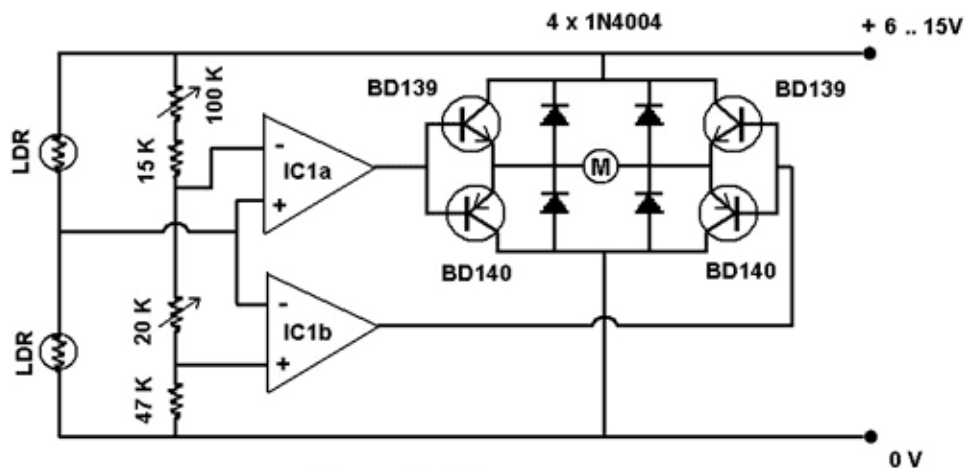


Рисунок 1.20 – Схема системи управління трекером двох ОП

Схема в режимі реального часу постійно порівнює показання двох датчиків LDR, поки вони однакові, виходи операційного підсилювача залишаються дезактивованими. Однак в той момент, коли показання відрізняються (що може виникати при зміні положення Сонця) баланс на вході операційного підсилювача зміщується в одному напрямку, негайно активуються схема керування двигунами і двигуни переміщують трекер у потрібному напрямку [27], [28]. Переміщення відбувається до тих пір, поки показання на датчиках LDR знову стануть однаковими, відповідно операційні підсилювачі знову стають дезактивованими. Дана послідовність відбувається протягом всього дня, як тільки Сонце змінює своє положення.

Транзистори в схемі працюють в парі, по діагоналі, кумутуючи +  $V_e$  або -  $V_e$  до мотору, і змушуючи його обертатися вперед або назад.

Під час зупинки мотора, він продовжує обертатися, тому що присутній обертальний момент. Внаслідок цього, мотор якийсь час генерує потужність, яка може вивести транзистори з ладу. Для захисту транзисторів від протидії в схемі моста використовується 4 діода.

Дана схема забезпечує збільшення вироблення електричної енергії сонячними батареями на 25 – 30 відсотків, при дуже малому споживанні самої системи, але працює некоректно в умовах похмурої погоди. Також, ще одним недоліком є те, що трекер позиціонується тільки по одній осі.

Авторами статті [29] була запропонована система управління трекером, яка базується на мікроконтролері PIC (рис. 1.21).

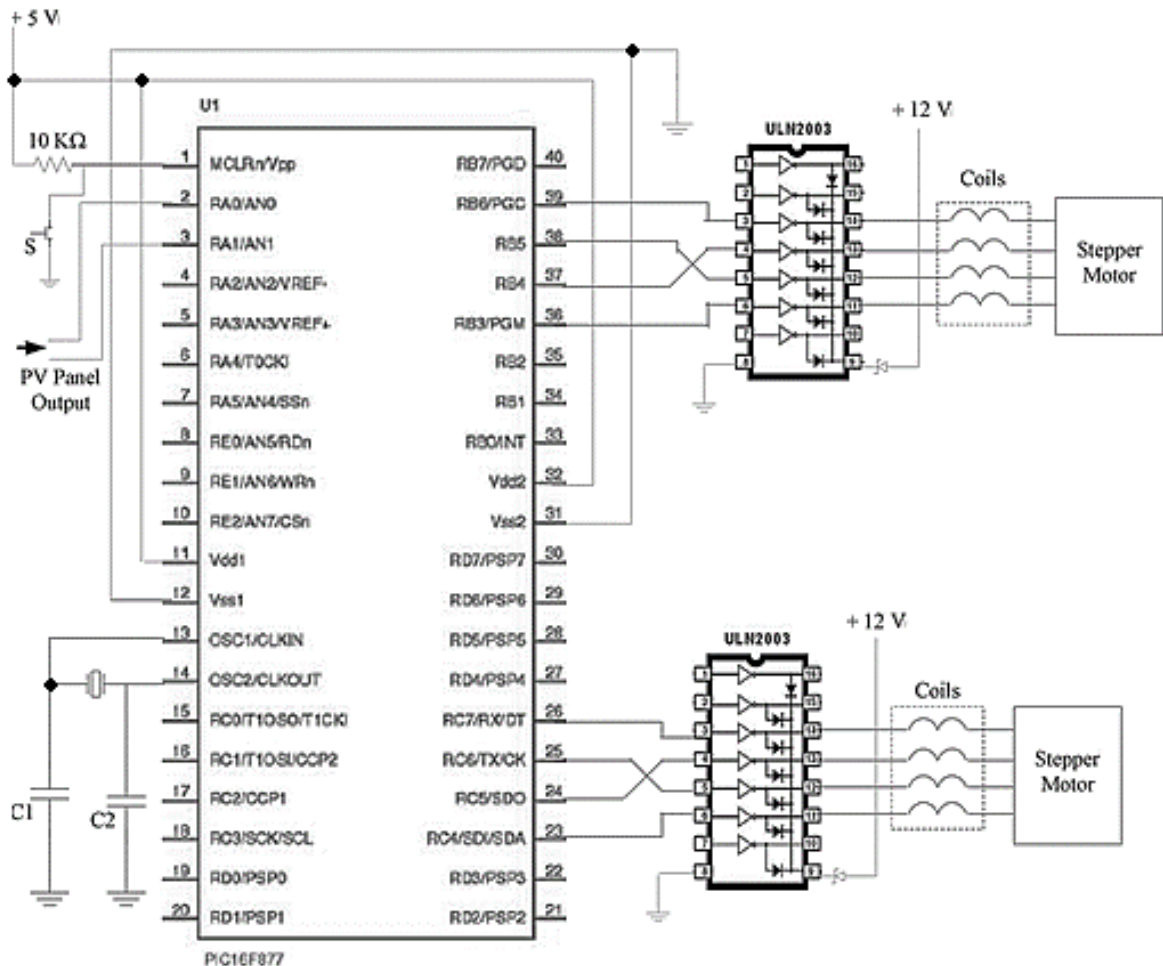


Рисунок 1.21 – Схема системи управління трекером на базі мікроконтролера PIC

Система не має чутливих датчиків, управління здійснюється силами мікроконтролера, цікаво те, що на аналогові входи МК підключена сонячна панель, позиція, на яку потрібно встановити трекер визначається найбільшою напругою на панелі, використання крокових двигунів у схемі, дозволяє контролеру обертати двигуни на певну кількість кроків через деякі проміжки часу. Це дешеве рішення, мінімум компонентів добре вплине на надійність

системи, але точність позиціонування досить неточна, через стрибки напруги на СЕ. Схему даної системи зображено на рисунку 1.21.

Авторами статті [17] було розроблено схему управління, основу на базі мікроконтролера PIC з використанням годинника реального часу (RTC). Також в схемі задіяний драйвер крокових двигунів, оснований на принципі Н – моста, кроковий двигун для повороту трекера.

Принцип роботи даної схеми досить простий. Так як відомо, що Сонце за одну годину змінює своє положення на  $15^\circ$ , контролер налаштовує двигун на поворот на  $1,5^\circ$  кожні 6 хвилин - це значення є деякою фіксованою кількістю кроків крокового двигуна. Програма також повертає трекер у вихідне положення в кінці дня.

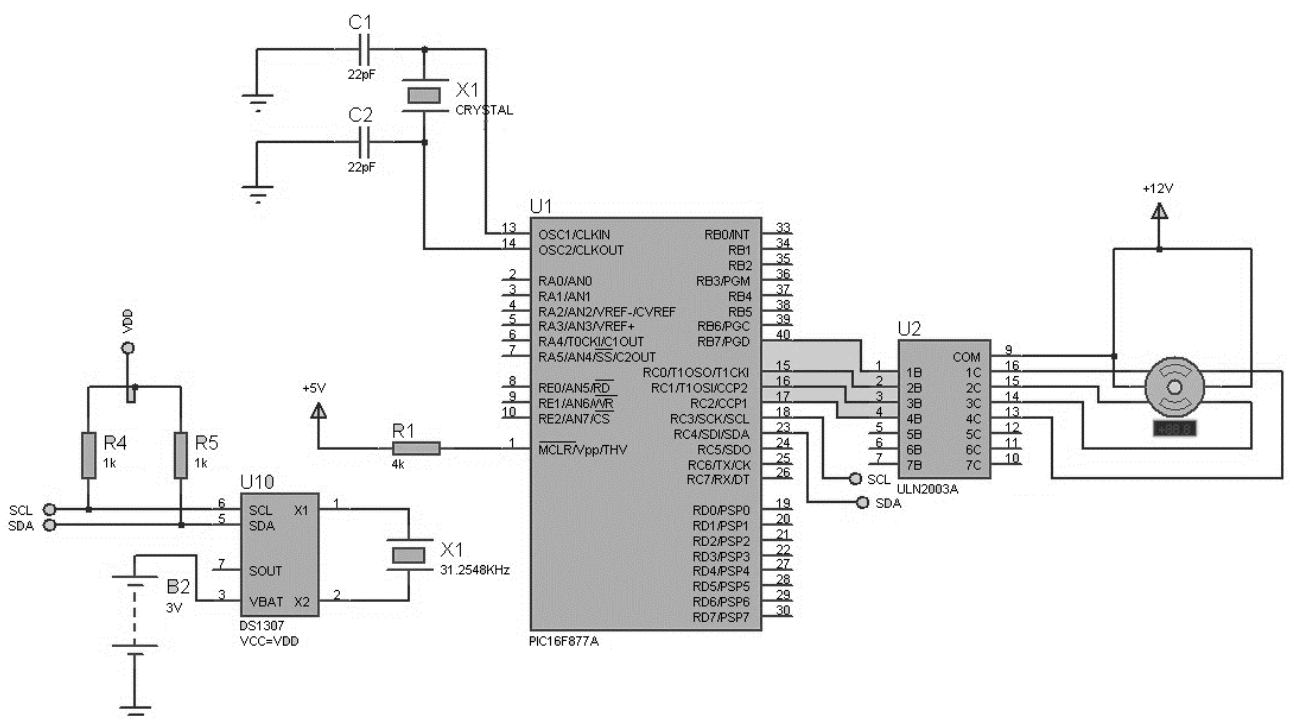


Рисунок 1.21 – Схема системи управління трекером на базі мікроконтролера PIC з використанням годинника реального часу

## 1.6 Постановка задачі проектування

Виходячи з викладеного вище матеріал і основної проблематики, яка відноситься до даної сфери, поставлені наступні задачі, які будуть вирішуватись при виконанні даної роботи:

- 1) розробка алгоритму роботи пристрою;

- 2) розробка структурної, функціональної і принципової електричної схеми пристрою;
- 3) вибір елементної бази для побудови пристрою;
- 4) розробка програмного забезпечення для пристрою.

Система повинна в режимі реального часу вимірювати поточне значення Азимуту і Зенітного кута за допомогою спеціальних датчиків, порівнювати отримані показання з поточними координатами розташування сонця, які залежать від часу, місяця, року, і встановлювати сонячний трекер в потрібне положення за допомогою двох двигунів, які закріплені на двох осях сонячного трекера. Поточні координати орієнтації трекера повинні виводитись на дисплей.

## **2 РОЗРОБКА СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ТРЕКЕРОМ**

### **2.1 Розробка алгоритму функціонування пристрою**

Розроблюваний пристрій повинен виконувати опитування датчиків різних типів, які встановлені на трекері сонячної панелі, при цьому при нормальних показаннях, розраховуються Азимутальний і Зенітний кути. Показання відображаються на дисплеї. Показання порівнюються з прописаними в пам'яті пристрою. Трекер, за допомогою серводвигунів розташовується так, щоб сонячні промені були під прямим кутом до панелі. Також повинна бути реалізована можливість задання координат системи через інтерфейс USART, а також повертання активної частини трекера у вихідне положення на початку нового дня.

У відповідності до поставленої задачі складемо алгоритм роботи пристрою що проектується. Робота пристрою розпочинається з його ініціалізації. Починається циклічне опитування підключених датчиків. Для отримання даних з датчиків виконується опитування портів вводу-виводу мікроконтролера. Показання записуються в пам'ять пристрою. Після опитування всіх датчиків, пристрій виконує обробку даних. Як результат обчислюються Азимутальний і Зенітний кути. У відповідності до поточної дати і часу, пристрій порівнює дані з попередньо заданими, якщо показання відрізняються, пристрій змінює положення трекера до тих пір, поки кути не стануть дорівнювати поточним кутам розташування Сонця.

Алгоритм роботи проектованої системи слідкування за Сонцем приведено на рисунку 2.1.

### **2.2 Розробка структурної схеми пристрою**

Для реалізації заданого алгоритму роботи необхідні функціональні блоки, які приведені на структурній схемі пристрою (рис. 2.2).

Пристрій можна умовно поділити на декілька частин: блок збору показань, блок обробки показань, пристрій відображення інформації.

Датчики потрібні для виміру фізичних величин, значення яких потрібно постійно аналізувати.

Система узгодження представляє собою драйвер для роботи серводвигунів.

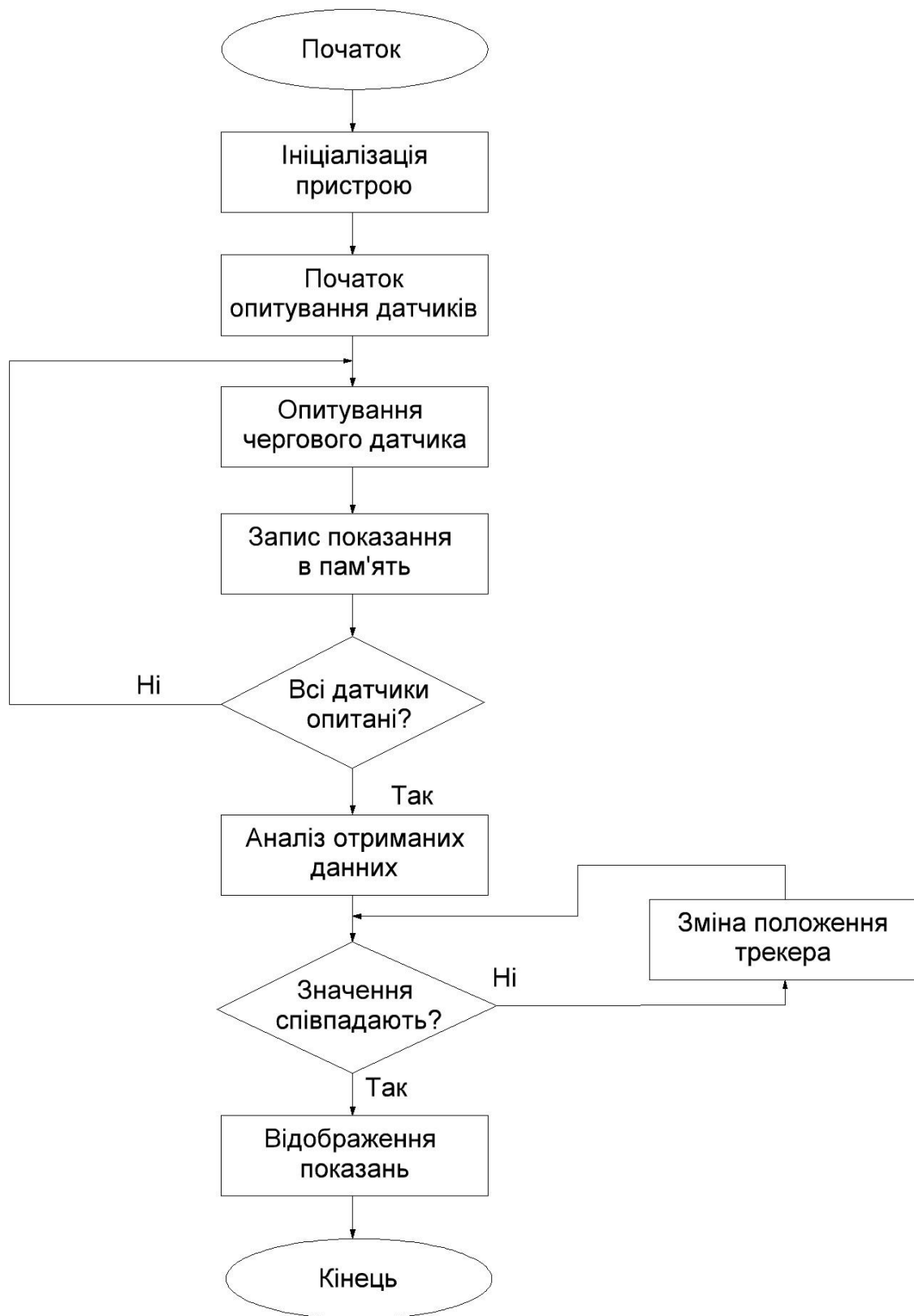


Рисунок 2.1 – Блок-схема алгоритму роботи пристрою





Рисунок 2.2 – Структурна схема пристрою

Виконуючим механізмом є пара актуаторів, що здійснюють поворот платформи відповідно сигналу від мікроконтролера.

Пристрій обробки даних є центральним вузлом проєктованого пристрою, він займається управлінням опитування датчиків, обробляє отримані дані, передає їх на пристрій виведення інформації, і керує підключеним до нього навантаженням.

### 2.3 Розробка функціональної схеми пристрою

Оскільки в розроблюваній схемі передбачається проведення циклічного опитування датчиків, математичні розрахунки, виведення результатів на дисплей та керування двигунами, систему доцільно виконати на базі мікроконтролера.

Умовно систему можна розділити на декілька блоків : 1) блок визначення орієнтації трекера у просторі; 2) мікроконтролер, який порівнює показання датчиків з координатами сонця в даний період часу, виконує керування переорієнтацією трекера і виводить поточні координати на дисплей; 3) інтерфейс користувача (дисплей).

Система орієнтації у просторі буде складатися з модуля електронного компаса і датчика кута нахилу (акселерометра). Цього цілком достатньо, щоб мати досить точні дані для повороту трекера.

Тобто в розроблювальній схемі в якості датчиків будуть використані: 1) акселерометр – пристрій, який вимірює різницю між істинним прискоренням об'єкта та гравітаційним прискоренням, тобто інерційну масу. Завдяки чому датчик видає дані про своє положення в просторі. Ці дані, за допомогою математичних розрахунків будуть переведені в значення Зенітного кута; 2) магнітометр - пристрій для вимірювання інтенсивності однієї або декількох складових магнітного поля. Магнітне поле Землі в кожній точці простору характеризується вектором напруженості  $T$ , напрям якого визначається трьома складовими по осях  $X$ ,  $Y$  і  $Z$  в прямокутній системі координат (рис. 2.3). Також магнітне поле Землі можна описати горизонтальною складовою напруженості  $H$  (Азимутальний кут); 3) годинник реального часу – пристрій, за допомогою якого, можна визначити, дату і час. Так як Сонце змінює своє положення в небі в залежності від пори року і часу доби, необхідно знати інформацію про дату і час в даний момент. В пам'яті мікроконтролера необхідно створити таблицю відповідності кутів положення сонця від поточних показань годинника реального часу.

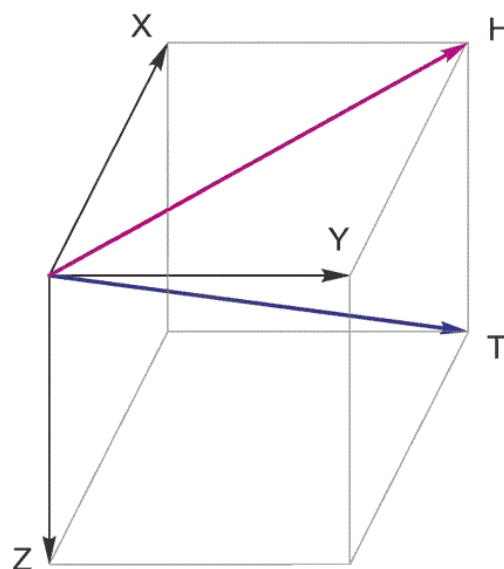


Рисунок 2.3 – Основні складові магнітного поля Землі

В якості інтерфейсу передачі даних між датчиками і мікроконтролером використовується інтерфейс I<sup>2</sup>C / ІІС (Inter-Integrated Circuit) - це протокол, що

спочатку створювався для зв'язку інтегральних мікросхем всередині електронного пристрою. Розробка належить фірмі Philips. В основі I<sup>2</sup>C протоколу є використання 8-бітної шини, яка потрібна для зв'язку блоків в керуючій електроніці, і системи адресації, завдяки якій можна спілкуватися по одним і тим же дротах з декількома пристроями. Ми просто передаємо дані то одному, то іншому пристрою, додаючи до пакетів даних ідентифікатор потрібного елемента.

Найпростіша схема I<sup>2</sup>C може містити один ведучий пристрій (найчастіше це мікроконтролер) і кілька введених (наприклад, дисплей LCD). Кожен пристрій має адресу в діапазоні від 7 до 127. Двох пристроїв з однаковою адресою в одній схемі бути не повинно.

В роботі I<sup>2</sup>C можна виділити кілька переваг:

- для роботи потрібно всього 2 лінії - SDA (лінія даних) і SCL (лінія синхронізації);
- підключення великої кількості введених приладів;
- зменшення часу розробки;
- для управління всім набором пристроїв потрібен тільки один мікроконтролер;
- можливе число мікросхем, які можна підключити до однієї шини обмежується тільки граничною ємністю;
- проста процедура діагностики виникнення збоїв, швидке налагодження неполадок;

Недоліки:

- існує ємнісне обмеження на лінії - 400 пФ;
- важке програмування контролера I<sup>2</sup>C, якщо на шині є кілька різних пристроїв;
- при великій кількості пристроїв виникають труднощі локалізації збою, якщо одне з них помилково встановлює стан низького рівня.

Як інтерфейс передачі даних на комп'ютер використовується інтерфейс RS-232. Даний інтерфейс нескладно реалізувати апаратно, він має досить високу швидкість передачі даних, достатню завадостійкість, підтримується більшістю сучасних мікроконтролерів.

Інтерфейс RS-232-C з'єднує два пристрої. Лінія передачі першого пристрою з'єднується з лінією прийому другого і навпаки (повний дуплекс) Для управління з'єднаними пристроями використовується програмне підтвердження (введення в потік переданих даних відповідних керуючих символів). Можлива

організація апаратного підтвердження шляхом організації додаткових RS-232 ліній для забезпечення функцій визначення статусу і управління [30].

Інтерфейс RS-232C призначений для підключення до комп'ютера стандартних зовнішніх пристроїв (принтера, сканера, модему, миші та ін.), А також для зв'язку комп'ютерів між собою. Основними перевагами використання RS-232C в порівнянні з Centronics є можливість передачі на значно більші відстані і набагато простіший з'єднувальний кабель. У той же час працювати з ним трохи складніше. Дані в RS-232C передаються в послідовному коді побайтно. Кожен байт обрамляється стартовим і стоповим бітами. Дані можуть передаватися як в одну, так і в іншу сторону (двобічний режим).

Формат даних, які передаються показаний на рисунку 2.4. Власне дані (5, 6, 7 або 8 біт) супроводжуються стартовим бітом, бітом парності і одним або двома стоповими бітами. Отримавши стартовий біт, приймач вибирає з лінії біти даних через певні інтервали часу. Дуже важливо, щоб тактові частоти приймача і передавача були однаковими, допустима розбіжність - не більше 10%). Швидкість передачі по RS-232C може вибиратися з ряду: 110, 150, 300, 600, 1200, 2400, 4800, 9600, 19200, 38400, 57600, 115200 біт / с [30].

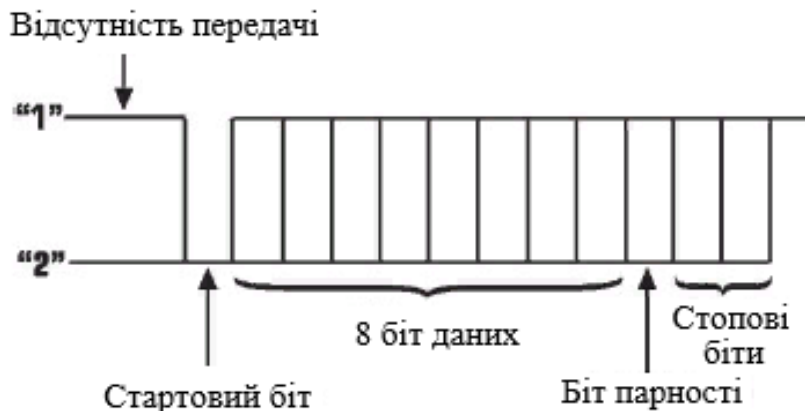


Рисунок 2.4 – Формат даних RS-232C [30]

Перевагами даного інтерфейсу можна вважати: високе розповсюдження, простоту і дешевизну з'єднувального кабелю, простоту і доступність програмного забезпечення для роботи з інтерфейсом.

Недоліки RS-232 полягають, перш за все, в тому, що він реалізує зв'язок типу «точка-точка» з низькою, за сучасними мірками, швидкістю (зазвичай 9600 біт в секунду), і працює тільки на невеликих відстанях (до 10-15 м).

Для перетворення паралельних даних в послідовні і навпаки, пристрої, що підключаються до інтерфейсу RS-232, повинні мати модуль універсального асинхронного прийомопередавача UART. Цей модуль працює, як правило, з сигналами ТТЛ-рівнів. Для перетворення цих сигналів в рівні інтерфейсу RS-232 і навпаки використовуються передавачі та приймачі.

Функціональна схема проектованого пристрою зображена на рисунку 2.5.

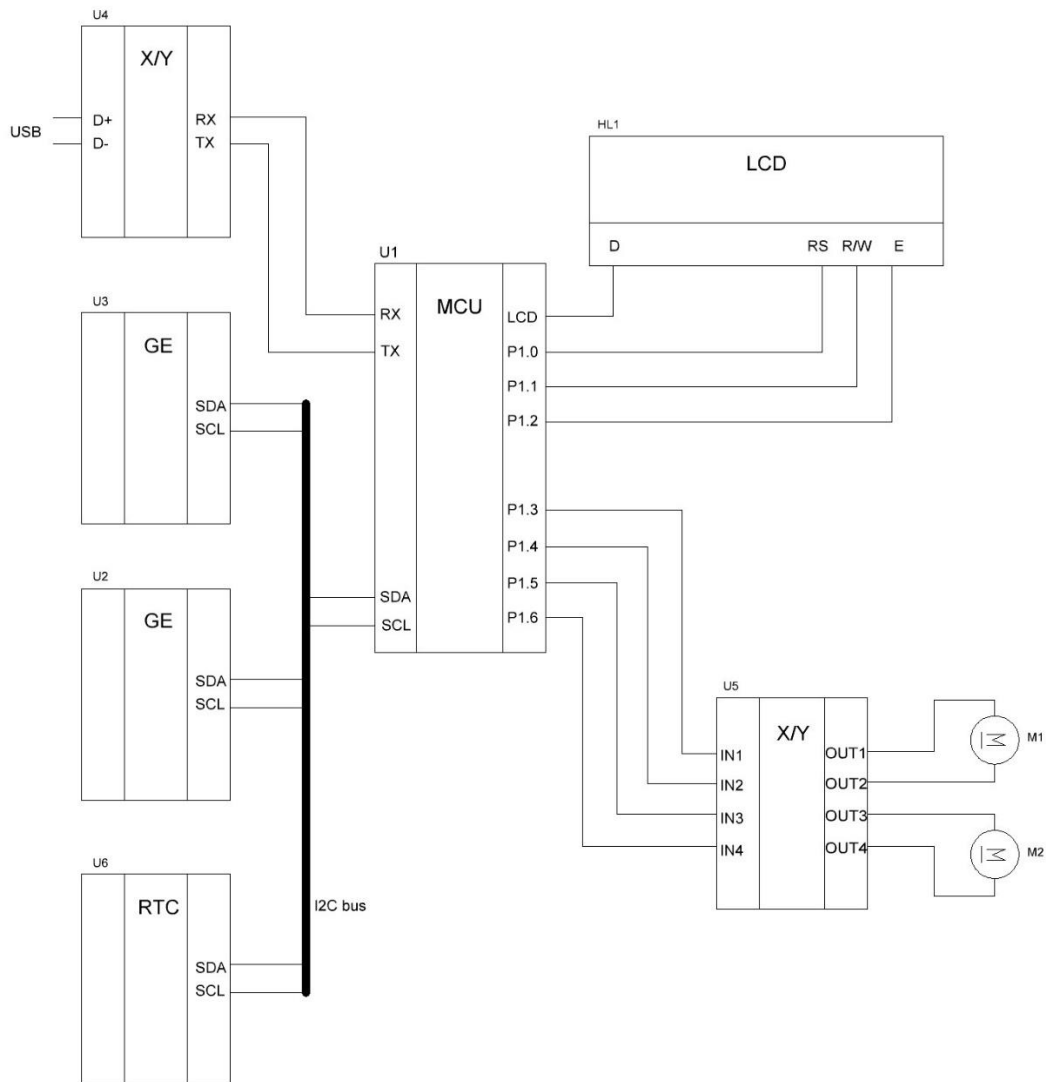


Рисунок 2.5 – Функціональна схема розроблюваного пристрою

## 2.4 Вибір елементної бази

**Вибір мікроконтролера.** Технологічний процес не стоїть на одному місці, з'являються все більш складні пристрої, і відповідно виробники мікроконтролерів поспішають не відставати від технологічного прогресу,

розробляючи все більш потужні мікроконтролери, при цьому постійно знижуючи ціни на них. Останнім часом зростає популярність ARM мікроконтролерів, а з приходом бюджетних контролерів з ядром Cortex-M ціна стала настільки доступною, що вони можуть конкурувати з 8 і 16 бітними контролерами, такими як AVR, PIC, MSP430 тощо, а найчастіше вона буде навіть меншою своїх восьмибітних побратимів. Крім цього для ARM мікроконтролерів існує безліч засобів налагодження та програмування, ціни на які цілком доступні. Порівняння мікроконтролерів наведено в таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 – Порівняльна таблиця параметрів розповсюджених МК.

Параметр	STM32F100C4T6B	ATmega48PA-PU	ATtiny13A-SSU	PIC16F505-I/SL
Середня ціна	15 грн.	30 грн.	18 грн.	20 грн.
Об'єм флеш пам'яті (ROM, пам'яті програм)	16 кБайт	4 кБайта	1 кБайт	1 кБайт
Об'єм оперативної пам'яті (RAM, пам'яті даних)	4096 Байт	512 Байт	64 Байта	72 Байта
Тактова частота	24 МГц, 30 DMIPS	20 МГц	20 МГц	20МГц
Ліній вводу/виводу	37	23	6	12
АЦП	16 каналів, 12 біт	8 каналів, 10 біт	4 канали, 10 біт	0
ЦАП	12-бітний	0	0	0
USART	2	1	0	0
SPI	1	1	1	0
I2C	1	1	0	0
Кількість таймерів	5	3	1	1
DMA	7 каналів	0	0	0

З даної таблиці видно, що наймолодший ARM мікроконтролер сімейства STM-32 має більші можливості і кращі характеристики при меншій ціні.



- робоча температура -40 ... 85 °С;
- кількість входів/виходів 51;
- таймер з розширеними функціями;
- шість таймерів загального призначення;
- 16-канальний 12-бітний АЦП;
- двоканальний 12-розрядний ЦАП;
- напруга живлення 2.0 В - 3.6 В;
- на платі є вбудований програматор ST-Link:
- інтерфейс USB;
- перемикач для використання плати в якості окремого пристрою ST-Link;
- живлення можливе від USB інтерфейсу або від зовнішнього джерела.

**Вибір системи відображення інформації.** Для виведення текстової інформації різного змісту зручно застосовувати символні дисплеї, беручи за увагу їх поширеність і простоту використання. В основі більшості таких дисплеїв лежить контролер HD44780, який дозволяє підключатися до дисплея за допомогою 4 або 8 лінійної шини даних і 3-х ліній управління. Контролер HD44780 приймає команди та виводить відповідні символи на РК дисплеї (рисунок 2.7).

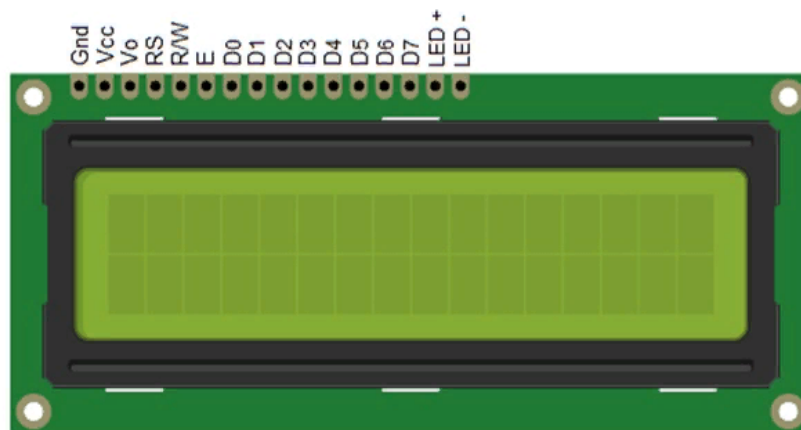


Рисунок 2.7 – Зображення LCD1602A, де GND – земля, Vcc - напруга живлення +5 В, Vo - напруга контрастності, RS-вивід за допомогою якого, дисплей визначає що в нього надходять дані або команди, RW – вивід, за допомогою якого, дисплей визначає передавати чи отримувати дані, E - лінія синхронізації, D0 - D7 - шина команд / даних, LED +, LED - - виводи для живлення підсвічування [31].



З усіх доступних LCD дисплеїв на ринку, найбільш часто використовують LCD 1602A, який може відображати ASCII символи в 2 рядки (16 знаків в 1 рядку), кожен символ в вигляді матриці 5x7 пікселів. Тому обираємо його [31].

Характеристики дисплея 1602a:

- розміри 80 x 36мм;
- робоча температура 0 ~ 50°C;
- підсвічування жовте;
- колір символів білий;
- розмір символу 4.35 x 2.95мм;
- формат 16 x 2;
- розміри точки 0.5 x 0.5мм;
- інтерфейс HD44780;
- видима область 64.5 x 13.8мм;
- живлення 5В.

**Вибір схеми перетворювача інтерфейсу.** Управління і задання початкових параметрів в пам'ять програми мікроконтролера буде використано перехідник USB to COM (рис. 2.8). Він дозволить підключати різні пристрої (супутникові тюнери, GPS навігатори, плати мікроконтролерів, сервісне обладнання) до комп'ютера або ноутбука, у яких немає COM порту. Цей пристрій емулює віртуальний COM порт, який в роботі нічим не відрізняється від реального порту. Особливостями його є низька ціна і широке розповсюдження.



Рисунок 2.8 – Зовнішній вигляд перетворювача інтерферсу на базі мікросхеми cp2102

Характеристики:

- швидкість передачі даних: 300 – 1 Mbps;
- мікросхема управління: CP2102;
- робоча напруга: 4В - 5,25;
- підтримка ОС: Windows XP, Vista, Windows 7, Mac OS, Linux;
- вихідна напруга: вихід подвійного напруги (3,3 В і 5В);

- індикатор виходу: індикатор живлення, індикатор TXD;
- вихідний струм: 100 мА (з обмеженням струму захисту);
- вивідні контакти: 3.3V RST TXD RXD GND 5V;
- розміри: 54 \* 16 мм.

**Вибір модуля годинника реального часу.** Велика частина мікросхем, аналогічних одній із найдоступніших типів модульного пристрою годинника реального часу DS1307, має на своєму борту схему простого кварцового резонатора. Вони мають непостійний діапазон частот кварцу, який постійно змінюється при різних температурах. Даний недолік створює неточність при обробці і підрахунку часу. Цей недолік був вирішений в мікросхемі DS3231, за рахунок впровадження в неї термокомпенсуючого кварцового резонатора, який підтримує температурну стабільність частоти. В цьому випадку реальний час завжди знаходиться у високоточному режимі [32].

Так як наш пристрій буде експлуатуватись в різних температурних умовах, то в якості модуля годинника реального часу обрано DS3231 через його ціну і стабільність.

Розглянемо його особливості, характеристики і специфікацію.

DS3231 – це модуль високоточного годинника реального часу (real-time clock, RTC) в який вбудовано I<sup>2</sup>C інтерфейс, термокомпенсуючий кварцовий генератор (TCXO) і кварцовий резонатор. Прилад має вхід для підключення резервного автономного джерела живлення, що дозволяє виконувати вимірювання температури і забезпечувати стабільну роботу годинника навіть при відсутності основного джерела живлення. Зображення даного модуля представлено на рисунку 2.9.

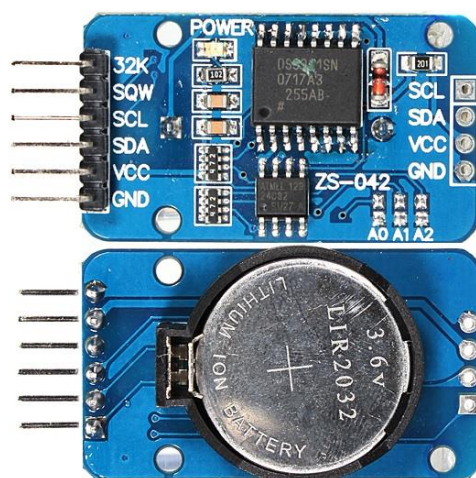


Рисунок 2.9 – Зображення модуля годинника реального часу DS3231 [32]

Вбудований кварцовий резонатор підвищує термін служби приладу і зменшує необхідну кількість зовнішніх елементів. DS3231 доступний в модифікаціях з комерційно і індустріальним робочим температурним діапазоном і упакований в 16 контактний SO корпус.

RTC забезпечує відлік секунд, хвилин, годин, днів тижня, днів місяця і року. Дата кінця місяця визначається автоматично з урахуванням високосного року. Годинник реального часу працює в 24 або 12- годинному форматі з індикацією поточної половини доби (AM / PM). Прилад має два щоденних будильника і вихід прямокутного сигналу з програмованою частотою. Обмін даними з приладом ведеться через вбудований послідовний I<sup>2</sup>C сумісний інтерфейс [32].

Прецизійне термокомпенсоване джерело опорної напруги і схема порівняння відстежують напругу основного живлення VCC і при її зниженні нижче заданого порогу формують сигнал скидання і здійснюють переведення схеми на роботу від резервного джерела живлення. Додатковий вивід RST може використовуватися для зовнішнього скидання.

Основні можливості мікросхеми DS3231:

- висока точність годинникового генератора з термокомпенсацією і корекцією ходу;
- лічильники секунд, хвилин, годин, днів тижня, днів, місяців і років з календарем з корекцією високосного року до 2100 року;
- стабільність генератора  $\pm 2$  ppm (1 ppm = 0,0001 %) в діапазоні температур від 0 ° C до + 40 ° C;
- стабільність генератора  $\pm 3,5$  ppm в діапазоні температур від -40 ° C до + 85 ° C;
- точність внутрішнього цифрового датчика температури  $\pm 3$  ° C;
- реєстр корекції точності ходу годинника;
- програмований вихід прямокутних імпульсів;
- два будильника, які налаштовуються;
- простий і поширений інтерфейс підключення;
- два режими шини I<sup>2</sup>C: стандартний (100кГц) і швидкий (400 кГц);
- дуже мале споживання енергії від резервного джерела;
- робоча напруга живлення від 3.0 В до 5.5 В;
- робочий температурний діапазон від 0 ° C до + 70 ° C для комерційного виконання і від -40 ° C до + 85 ° C для промислового;

– вбудований температурний датчик з точністю вимірювання  $\pm 3^\circ \text{C}$ .

Специфікацію модуля DS3231 приведено в таблиці 2.2.

Таблиця 2.2 – Специфікація модуля DS3231

Напруга живлення	2,3 ... 5,5 В
Поріг перемикання на резервне джерело живлення	2,7 В
Струм в режимі очікування	110 ... 170 мкА
Струм під час передачі даних	200 ... 300 мкА
Струм в режимі очікування (живлення від батареї)	3,0 ... 3,5 мкА
Робоча температура	0 ... +70 °С
Робоча температура (DS3231SN)	-40 ... +85 °С
Точність ходу годинника	$\pm 1$ хв/рік
Кількість виводів	6
Об'єм пам'яті EEPROM AT24C32N	32 КБ
Адреса DS3231	0x68
Адреса AT24C32N	0x57
Підтримувані формати дати	12 і 24
Кількість будильників	2
Інтерфейс підключення	I2C
Габаритні розміри модуля	38 × 22 × 14 мм
Вага	8 г

**Вибір датчика прискорення і нахилу.** Щоб орієнтувати сонячний трекер відносно горизонтальної осі необхідно знати кути нахилу трекера. Для таких

цілей ідеально підходить датчик акселерометра, що дозволяє також визначати положення в просторі.

Акселерометр - це інструмент, задача якого полягає у вимірюванні проекції повного прискорення тіла, для виміру використовуються три чутливі осі: X, Y і Z [33].

При виборі датчика положення, прискорення і нахилу враховувалась необхідна для майбутнього пристрою смуга пропускання. Звичайно аналогові датчики більш чутливі, але вони потребують використання зовнішнього АЦП з подальшою і необхідною обробкою даних. Цифрові, в свою чергу, мають достатню для нашого проекту чутливість, недорогі, і дуже прості в підключенні. В якості такого датчика був обраний цифровий акселерометр ADXL345.

ADXL345 - це невеликий і малопотужний 3-х осьовий акселерометр з високою роздільною здатністю (13 біт) і з діапазоном вимірювання прискорення до  $\pm 16$  g, причому діапазон вимірювань можна вибрати з ряду:  $\pm 2$  g,  $\pm 4$  g,  $\pm 8$  g і  $\pm 16$  g (рис. 2.10). Результат вимірювань можна прочитати за допомогою інтерфейсів SPI або I2C у вигляді 16-ти біт даних.

Акселерометр являє собою датчик, що вимірює проекції прискорення на три просторові осі. Враховуючи величину прискорення вільного падіння (g) та дані вимірювання по трьох осях, можна визначити орієнтацію акселерометра в просторі.

ADXL345 відноситься до класу ємнісних акселерометрів, і, володіючи вузькою смугою пропускання (0,05 ... 1600 Гц), ідеальний для вимірювання низькочастотних вібрацій, статичного прискорення, руху і кута відхилення (менше  $1.0^\circ$ ).

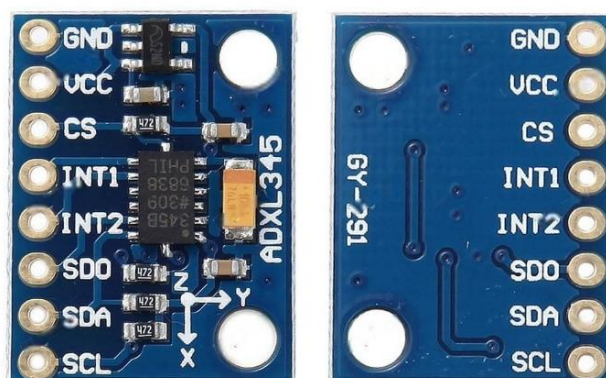


Рисунок 2.10 – Зображення модуля акселерометра ADXL345

Смуга пропускання характеризує здатність датчика «помічати» зміни прискорення (руху), що відбуваються з високою частотою (наприклад, вібрація з частотою 1000 Гц). На цю характеристику впливає частота дискретизації вбудованого АЦП акселерометра, яка, для можливості виявлення короткочасного впливу на датчик, повинна бути як мінімум в два рази більше охопленої смуги пропускання. І для ADXL345 максимальна частота дискретизації становить 3200 Гц.

Лінія ALT\_ADDRESS відповідає за адресу акселерометра на шині I2C. При високому логічному рівні на лінії, акселерометру присвоюється 7-ми бітна адреса зі значенням 0011101, при низькому рівні 1010011. Для коректного функціонування інтерфейсу, лінії SDA і SCL необхідно підтягнути до живлячої напруги.

Особливості модуля ADXL345 :

- напруга живлення 2.0 ... 3.6 В;
- низький рівень споживання енергії: 25 ... 130 мкА в режимі вимірювання і 0,1 мкА в режимі очікування;
- інтерфейси SPI (3-х і 4-х провідний) і I2C;
- визначення вільного падіння;
- можливість вибору роздільної здатності;
- виявлення одиночного і подвійного поштовхів (легких ударів);
- контроль активності / неактивності;
- можливість гнучкого завдання режимів переривання з вибором будь-якого (з 2-х можливих) виводів переривань;
- діапазон вимірювання, так як і смуга пропускання, вибирається подачею певної команди;
- широкий температурний діапазон (від -40 ° С до + 85 ° С)
- висока ударостійкість до 10000g.

Режими зниженого енергоспоживання дозволяють реалізувати інтелектуальне управління живленням системи з виявленням перевищення порогового значення і проведенням вимірів прискорення при дуже низькій потужності, що розсіюється

ADXL345 випускається в компактному, тонкому 14-контактному пластиковому корпусі з габаритами 3 мм × 5 мм × 1 мм.

**Вибір модуля магнітометра.** Так як визначення положення щодо вертикальної осі залишилося без уваги вибір для цих цілей чутливого датчика є актуальною задачею. Безумовно, для цього можна було використовувати

гіроскоп. Але у гіроскопа є дрейф і він не може нам показати напрямок по сторонах світу. Для цього спробуємо задіяти трьохосьовий магнітометр HMC5883L. Він досить поширений, недорогий і володіє достатньою точністю для даного проекту, має інтерфейс підключення I<sup>2</sup>S.

Для спрощення схеми в цілому можна застосувати вже готовий модуль GY271, який має на своєму борті мікросхему HMC5883L. Зовнішній вигляд даного модуля показано на рисунку 2.11.

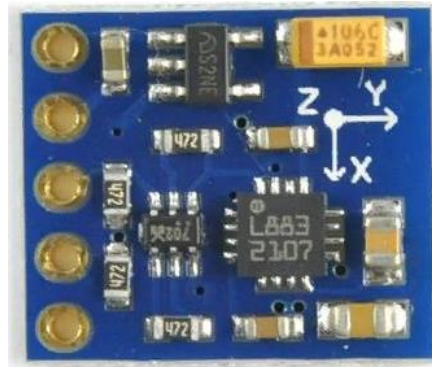


Рисунок 2.11 – Зовнішній вигляд модуля магнітного компаса GY-271

При повороті трьохосьового магнітометра в магнітному полі Землі показання на його трьох осях змінюються. Використовуючи ці дані можна визначити напрямок по сторонах світу. Знаючи показання з осей X, Y можливо обчислити кут, який і буде кутом відхилення від напрямку на північ. В такому режимі модуль виконує роль компаса.

Характеристики компаса GY-271:

- напруга живлення 3.3 - 5 Вольт (на платі встановлено стабілізатор живлення);
- тип сенсора: магніторезистивний;
- струм режим вимірювання: 2.5 мА;
- струм режим сну: 0.1 мА;
- діапазон вимірювань:  $\pm 8$  Гаусс;
- точність:  $\pm 2$  мілі Гаусса;
- розрядність перетворення: 12 біт;
- інтерфейс: I<sup>2</sup>S;
- підтримка автоматичного калібрування;
- розмір модуля: 14.5 x 13.5 мм.

**Вибір поворотного приводу.** При вирішенні задачі зміни положення трекера, виникає необхідність у виборі виконавчих пристроїв, тобто таких елементів системи, які б перетворювали електричну енергію в механічний рух. Для цих цілей підходять актуатори на базі двигунів постійного струму з редукторами, вони забезпечують необхідну потужність для повороту масивної конструкції трекера. Також необхідно передбачити самоблокування двигуна актуатора, щоб положення осей трекера не змінювалося під впливом вітру. Також виконавчі пристрої потрібні мати високу надійність і здатність працювати при різних погодних умовах.

Лінійний актуатор створює рух по прямій лінії. Існує багато типів лінійних актуаторів: механічний, гідравлічний, пневматичний і т. д. Найбільш поширеним є механічний. Багато з них мають на своєму борті електричний двигун, шестерні і спеціальний вал, через який передається обертальний рух іншим компонентам, передавальний вал даного актуатора має властивість самоблокуватись, що є необхідністю для даного проекту. Також необхідно зауважити, що сучасні моделі мають збільшену кількість зубців на шестернях, що, в свою чергу, значно збільшує живучість приводу, точність позиціонування і плавність обертання. Будову лінійного актуатора зображено на рисунку 2.12.

Для даного проекту необхідно задіяти два подібних актуатора, щоб впливати на положення вертикальної і горизонтальної осі повороту трекера. Для проекту підійде модель HARL3612.

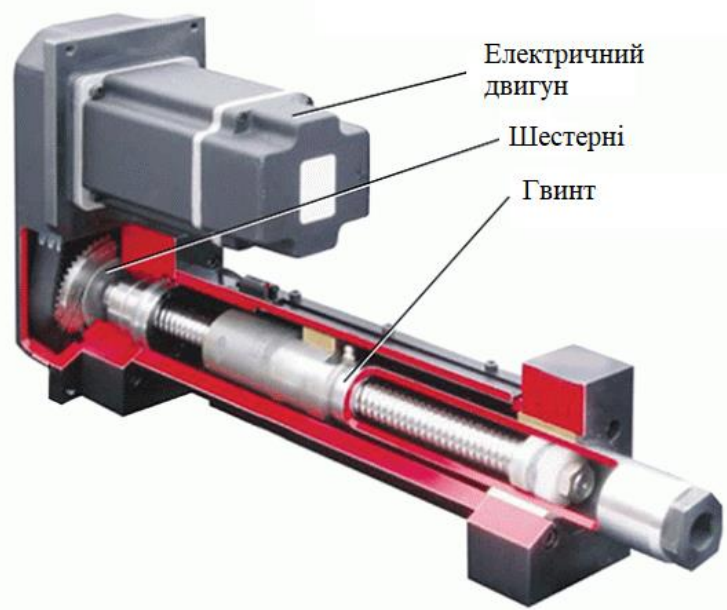


Рисунок 2.12 – Будова типового лінійного актуатора



Технічні характеристики актуатора HARL3612:

- регульований хід;
- кінцеві вимикачі;
- волого / пило захисне виконання;
- підвищені антикорозійні якості;
- висока продуктивність і термін служби;
- висока точність;
- довжина ходу: 12 "(дюйм);
- струм навантаження  $\leq 0.80A$ ;
- привід гвинта: Асте (гвинтовий, черв'ячний);
- статичне навантаження 408,2кг (4000Н);
- швидкість (без навантаження) 7.8мм / с.;
- робоча температура: від -15 до 40 °С.

**Вибір драйвера для двигунів постійного струму.** Перед нами стоїть задача підключити два двигуна, які будуть встановлювати орієнтацію сонячного трекера прямо на Сонце. На виходи мікроконтролера такі двигуни підключати неможна, так як є обмеження по силі струму на виходах МК.

Існує декілька способів підключити двигун до мікроконтролера:

1. Використовувати реле. Ми включаємо двигун в окрему електричну мережу, ніяк не пов'язану з платою МК. Реле по команді мікроконтролера замикає або розмикає контакти, тим самим вмикає або вимикає струм. Відповідно, двигун вмикається або вимикається. Головною перевагою цієї схеми є її простота. Головним недоліком цієї схеми є те, що ми не можемо управляти швидкістю і напрямком обертання [34].

2. Використовувати силовий транзистор. В даному випадку ми можемо управляти струмом, що проходить через двигун, а значить, можемо управляти швидкістю обертання валу. Але для зміни напрямку обертання цей спосіб не підійде.

3. Motor Shield - плата розширення для МК, яка забезпечує роботу двигунів постійного струму і крокових двигунів. Найпопулярнішими платами Motor Shield є схеми на базі чіпів L298N.

Необхідно підключити два двигуна з редукторами, вимоги до сили струму не високі. Для таких цілей ідеально підходить модуль управління моторами RKP-01A на мікросхемі L298N (рис. 2.13).

Модуль використовується для управління кроковими двигунами з напругою від 5 до 35 В. За допомогою однієї плати L298N можна управляти

відразу двома двигунами. Найбільше навантаження, яку забезпечує мікросхема, досягає 2 А на кожен двигун [34].



Рисунок 2.13 – Зображення модуля управління моторами RKP-01A на мікросхемі L298N

Характеристики драйвера моторів RKP-01A на мікросхемі L298N:

- мікросхема драйвера: L298N (з радіатором охолодження);
- можливість живлення зовнішньої логіки ( $V_{ss}$ ): + 5V ~ + 7V (внутрішній стабілізатор +5 В);
- вхідна напруга логічної частини ( $V_d$ ): від 6V до 12V;
- вхідна напруга керованої частини ( $V_s$ ): від + 5V до + 35V;
- робочий струм зовнішньої логічної частини ( $I_{ss}$ ): 0 ~ 36mA;
- струм навантаження кожної керованої частини ( $I_o$ ): 2A;
- піковий струм навантаження кожної керованої частини ( $I_o$ ): 3A;
- максимальна споживана потужність: 20 Вт;
- високий рівень вхідного сигналу (High):  $2.3V = V_{in} = V_{ss}$ ;
- низький рівень вхідного сигналу (Low):  $-0.3V = V_{in} = 1.5V$ ;
- робоча температура навколишнього середовища: від -25 до + 130 ° C;
- розміри модуля з радіатором L298: 53 x 47 x 27 мм;
- вага драйвера моторів RKP-01A: 35 грам.

## 2.5 Розробка схеми електричної принципової

**Підключення мікроконтролера.** На рисунку 2.14 наведено типову схему підключення мікроконтролера STM32F100RBT6 на прикладі плати STM32VLDISCOVERY.

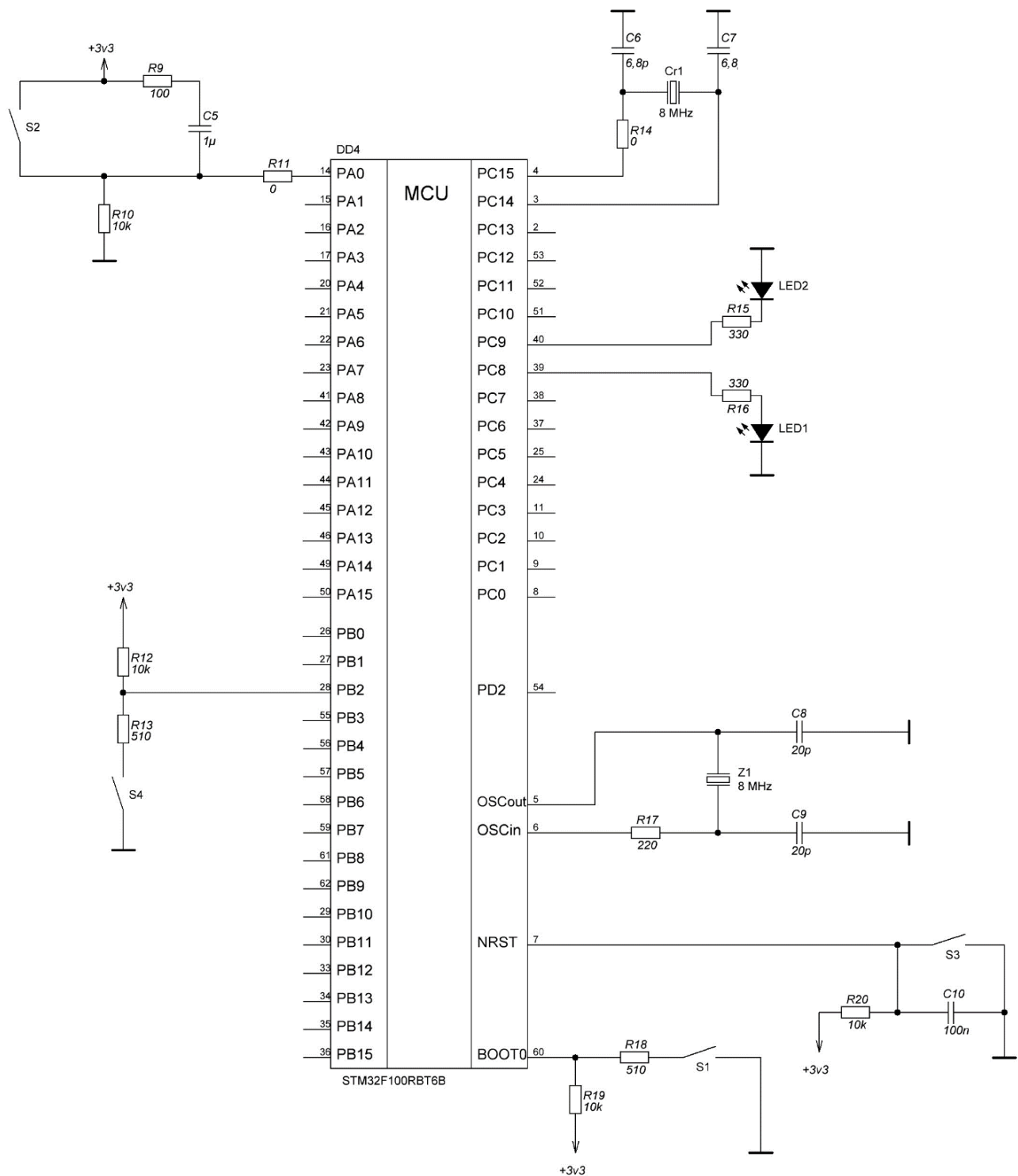


Рисунок 2.14 – Типова схема підключення мікроконтролера STM32F100RBT6B

Як видно із схеми, до мікроконтролера підключено дві кнопки. Перша – це користувацька кнопка, вона підключена до виводу PA0, у вільному стані кнопка роз'єднана і через резистор R10 підтягується на землю, конденсатор C5 призначений для захисту входу МК від зовнішніх наводок, при натисканні

кнопки, вхід МК замикається на плюс живлення, таким чином на МК подається логічна одиниця. Друга кнопка виконує функцію скидання МК, вона замикає вхід мікроконтролера на землю, це приводить до апаратного скидання програми, при відпусканні кнопки на вхід МК через резистор R20 подається логічна одиниця, і мікроконтролер починає виконання програми з самого початку.

На виводи PC8 і PC9, через резистори R15, R16 підключено зелений і синій світлодіоди.

До виводів PC14 і PC15 підключено кварцовий резонатор з робочою частотою 32 кГц, даний резонатор призначений для тактування вбудованого годинника реального часу, для тактування самого мікроконтролера встановлено кварцовий резонатор Z1 з робочою частотою 8 МГц.

Вивід МК BOOT0, який дозволяє запуск вбудованого завантажувача, через резистор R17 і перемикач S1 підключений до землі, таким чином забороняється завантаження вбудованого завантажувача. Для дозволу необхідно замкнути вивід BOOT0 на +3,3В. Якщо в момент скидання на BOOT0 буде низький логічний рівень, то контролер завантажує завантажену в нього програму. У випадку, якщо в момент перезавантаження на BOOT0 опиниться логічна одиниця – аналізується вхід BOOT1, щоб визначити варіант подальшого завантаження, тобто завантажуватись мікроконтролеру із вбудованого завантажувача чи з флеш – пам'яті.

**Підключення системи відображення інформації.** На рисунку 2.15 зображено типову схему підключення дисплею 1602А.

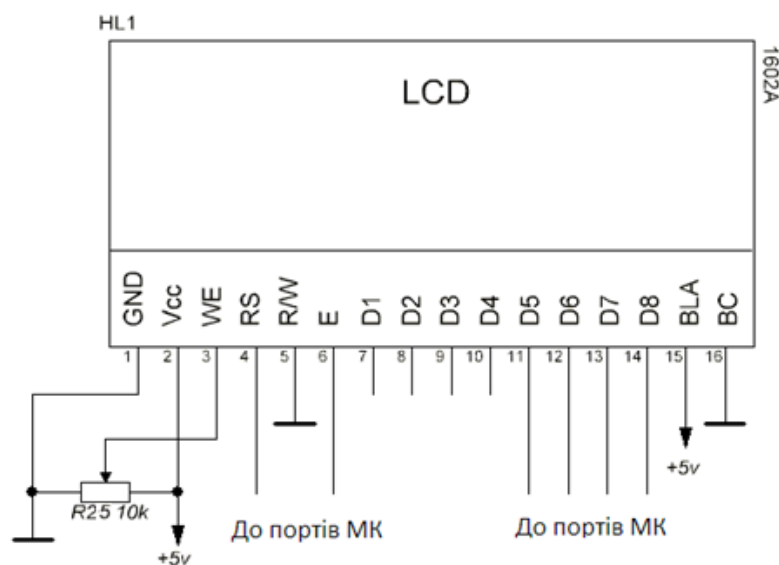


Рисунок 2.15 – Типова схема підключення LCD1602A

З схеми видно, що вивід VLA – плюс живлення підсвітки підключається до джерела +5В, ВС – мінус живлення підсвітки – на землю.

Використовується чотирьох бітний режим передачі даних, виводи дисплея D5, D6, D7, D8, підключаються до виводів PC0, PC1, PC2, PC3 відповідно.

Вивід WE (керування контрастністю) управляється змінним резистором R25, який також підключено до живлячої напруги і землі.

Виводи E і RS дисплею підключено до виводів PC4 і PC5 мікроконтролера відповідно.

**Підключення перетворювача інтерфейсу.** На рисунку 2.16 зображено типову схему підключення перетворювача інтерфейсу на базі мікросхеми CP2102.

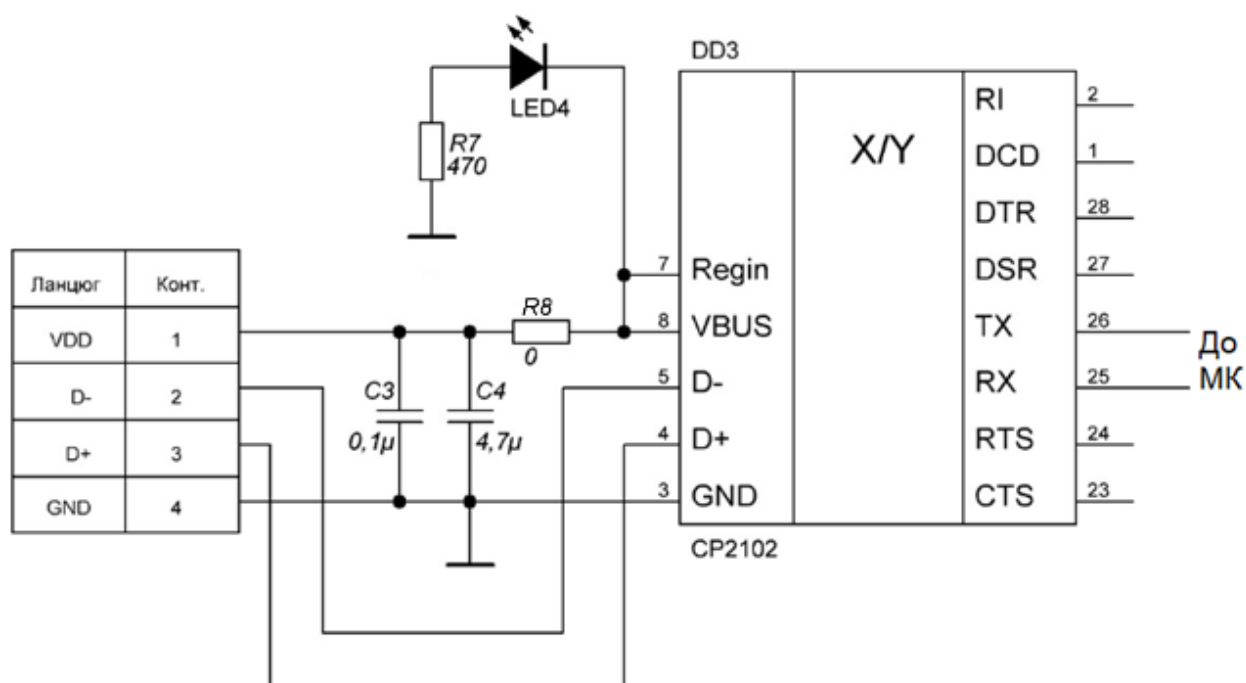


Рисунок 2.16 – Типова схема підключення перетворювача інтерфейсу USB to TTL на базі мікросхеми CP2102

Зі схеми видно, що з порту USB виходять лінії VDD, D-, D+, GND. D- і D+ (лінії передачі даних) надходять на 4 і 5 ноги мікросхеми. Живлення +5В на мікросхему приходить через фільтруючі конденсатори C3 і C4, R8 – перемичка, VDD порту USB підключається до 8 ноги мікросхеми VBUS і Regin, GND – на 3 ногу мікросхеми.

Для індикації роботи модуля встановлюється світлодіод LED4, що підключається до лінії VBUS через резистор R7.

RX і TX виводи мікросхеми підключаються до виводів PA9 PA10 мікроконтролера.

**Підключення модуля годинника реального часу.** Типову схему підключення модуля DS3231 наведено на рисунку 2.17.

Зі схеми можна побачити, що модуль живиться напругою +3,3В, вона фільтрується конденсатором C11.

Виводи SCL і SDA надходять на піни PB6 і PB7 мікроконтролера. Вони підтянуті до лінії +3,3В через резистори R21 і R22.

На входи INT і 32kHz (виходи з відкритим стоком) під'єднано лінію +3,3В через підтягуючі резистори R23 і R24.

До виводів Vbat і GND під'єдується джерело резервного електропостачання.

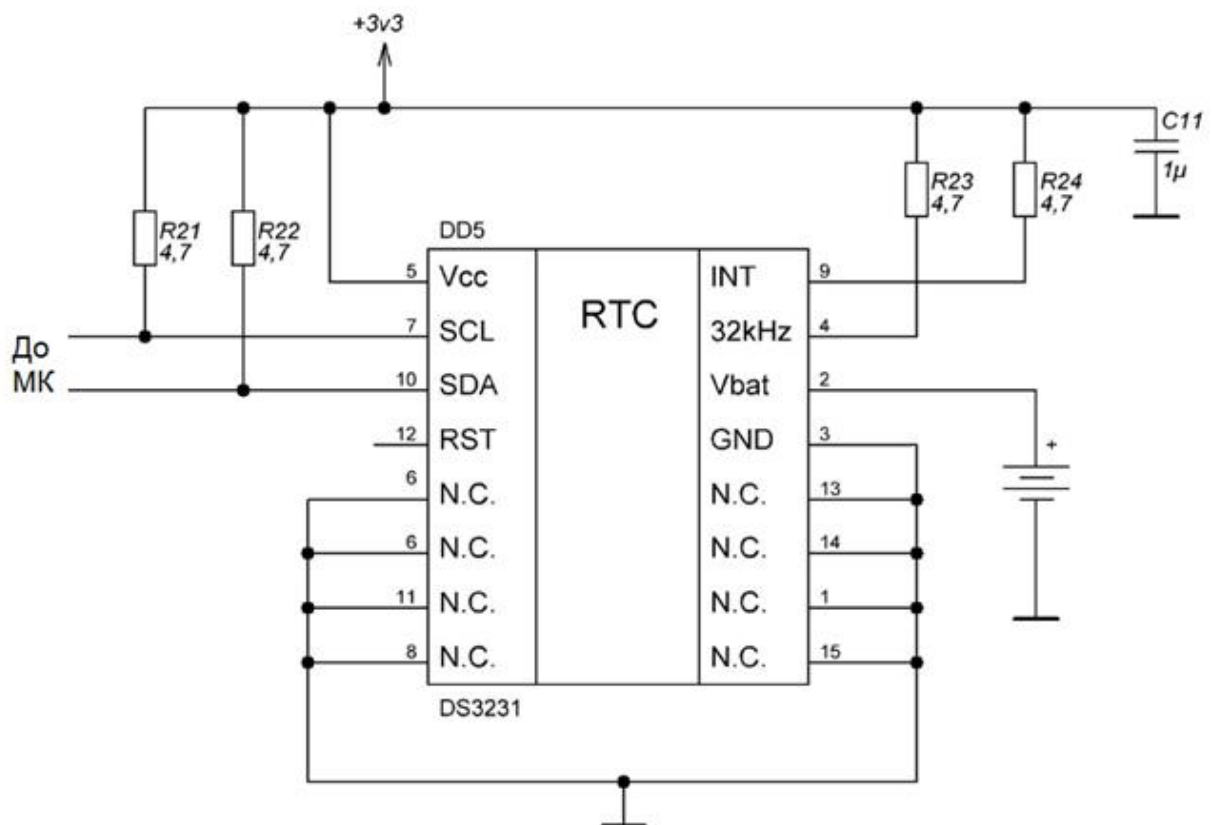


Рисунок 2.17 – Типова схема підключення модуля годинника реального часу DS3231

**Підключення модуля датчика прискорення та нахилу.** На рисунку 2.18 зображено типову схему підключення модуля акселерометра ADXL345.

Живлення мікросхеми береться з джерела +3,3В і подається на виводи Vdd і Vs мікросхеми.

Вивід CS підключається потенціалу до джерела +3,3В через резистор R4 для переводу модуля в режим I<sup>2</sup>C.

Виводи SCL і SDA через резистори R1 і R2 підтягуються до живлячої напруги і надходять на піни PB6 і PB7 мікроконтролера.

Вивід SDO під'єднано до землі через резистор R3 для визначення адресу мікросхеми для цифрового інтерфейсу, при під'єднанні на цей вивід плюса живлення адрес змінюється, виникає можливість використовувати декілька таких модулів.

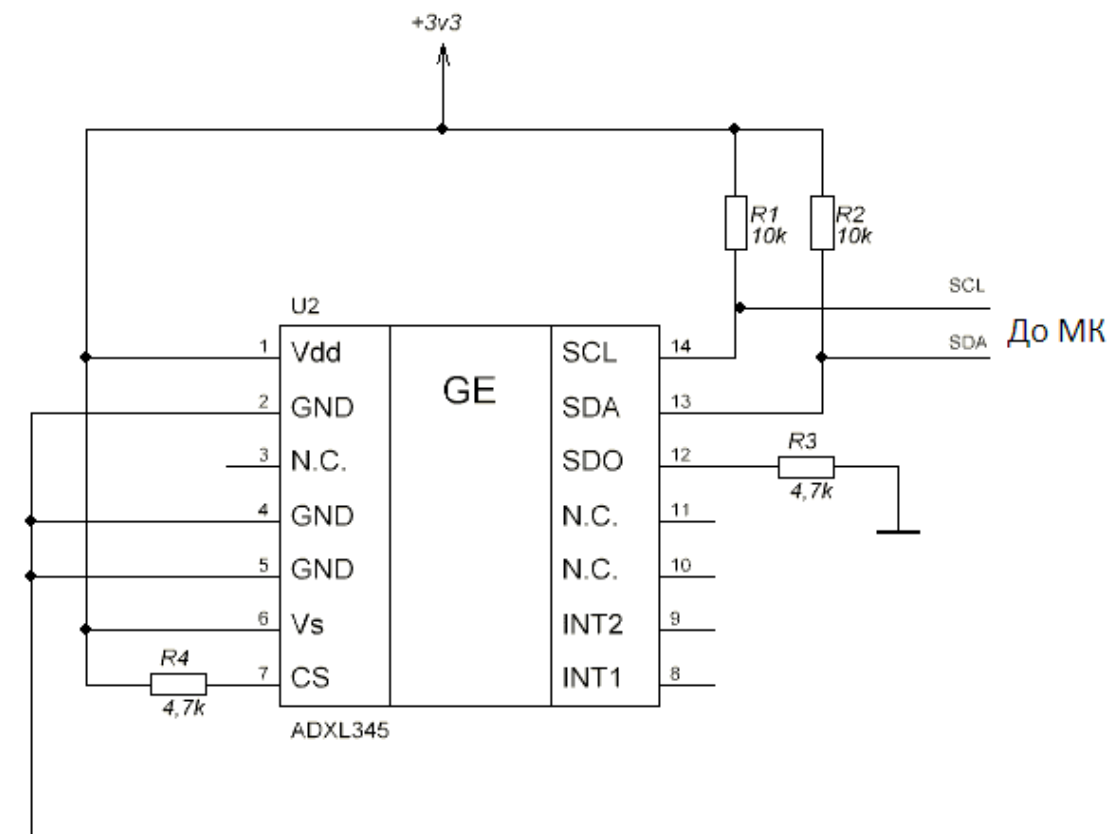


Рисунок 2.18 – Типова схема підключення модуля акселерометра ADXL345 по шині I<sup>2</sup>C

**Підключення модуля магнітометра.** На рисунку 2.19 зображено типову схему підключення модуля магнітного компаса GY-271 на основі мікросхеми трьохосового компаса HMC5883L.

Зі схеми видно, що лінії шини I<sup>2</sup>C SCL і SDA також підтянуті через резистори R5 і R6 до лінії +3,3В, і в свою чергу підключаються на порти PB6 і PB7 мікроконтролера.

Живляча напруга приходить на 13, 4 і 2 ноги мікросхеми.

Між входами SETP і SETC мікросхеми встановлюється конденсатор C1. Між землею GND і піном C1 датчика необхідно передбачити конденсатор C2. Причому ці два конденсатори повинні мати високий ESR і знаходитись в керамічному корпусі.

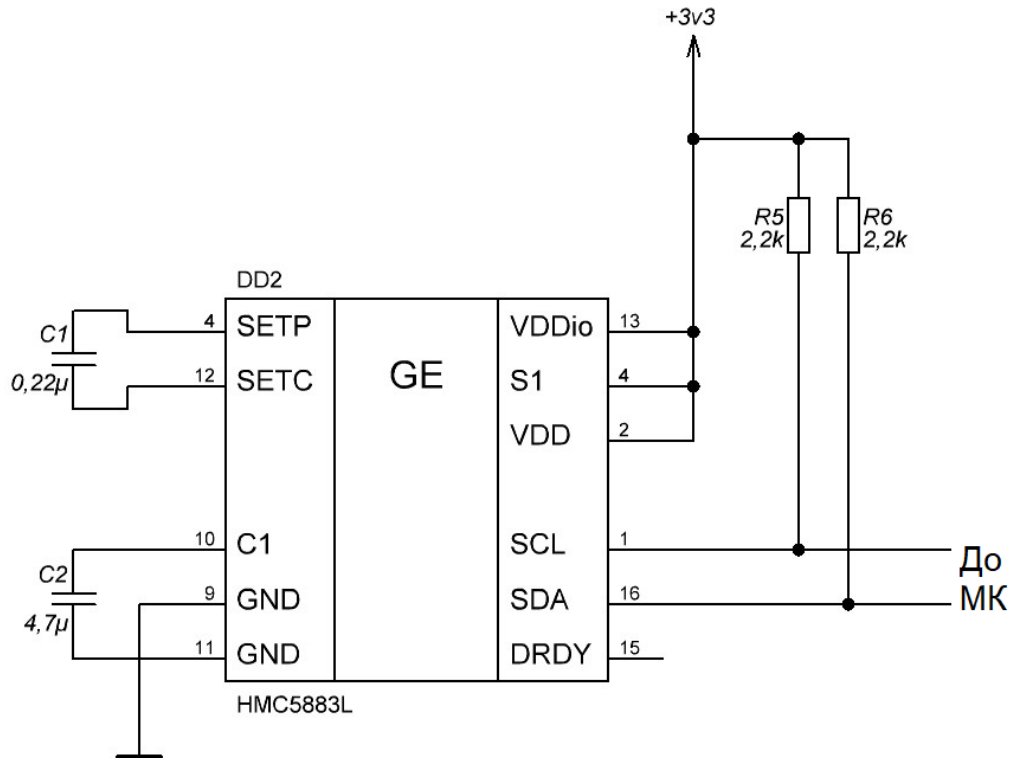


Рисунок 2.19 – Типова схема підключення модуля магнітного компаса GY- 271 по шині I<sup>2</sup>C

**Підключення драйвера для двигунів постійного струму.** На рисунку 2.20 приведено типову схему підключення мікросхеми драйвера для двигунів постійного струму L298N.

Зі схеми можна побачити, що для індикації присутності живлення на ногах мікросхеми встановлено світлодіод LED3, який підключається через резистор R25 на лінію +5В.

Сама мікросхема живиться напругою +5В, що приходить на ногу VSS, EN A, EN B.

Виводи ISEN A та ISEN B підключаються до землі.

Необхідно зауважити, що лінію GND мікросхеми потрібно з'єднати з лінією GND мікроконтролера.



На виводи IN1, IN2, IN3, IN4 драйвера, що управляють напрямком обертання двигунів, надходять управляючі сигнали від пінів PA0, PA1, PA2, PA3 мікроконтролера відповідно.

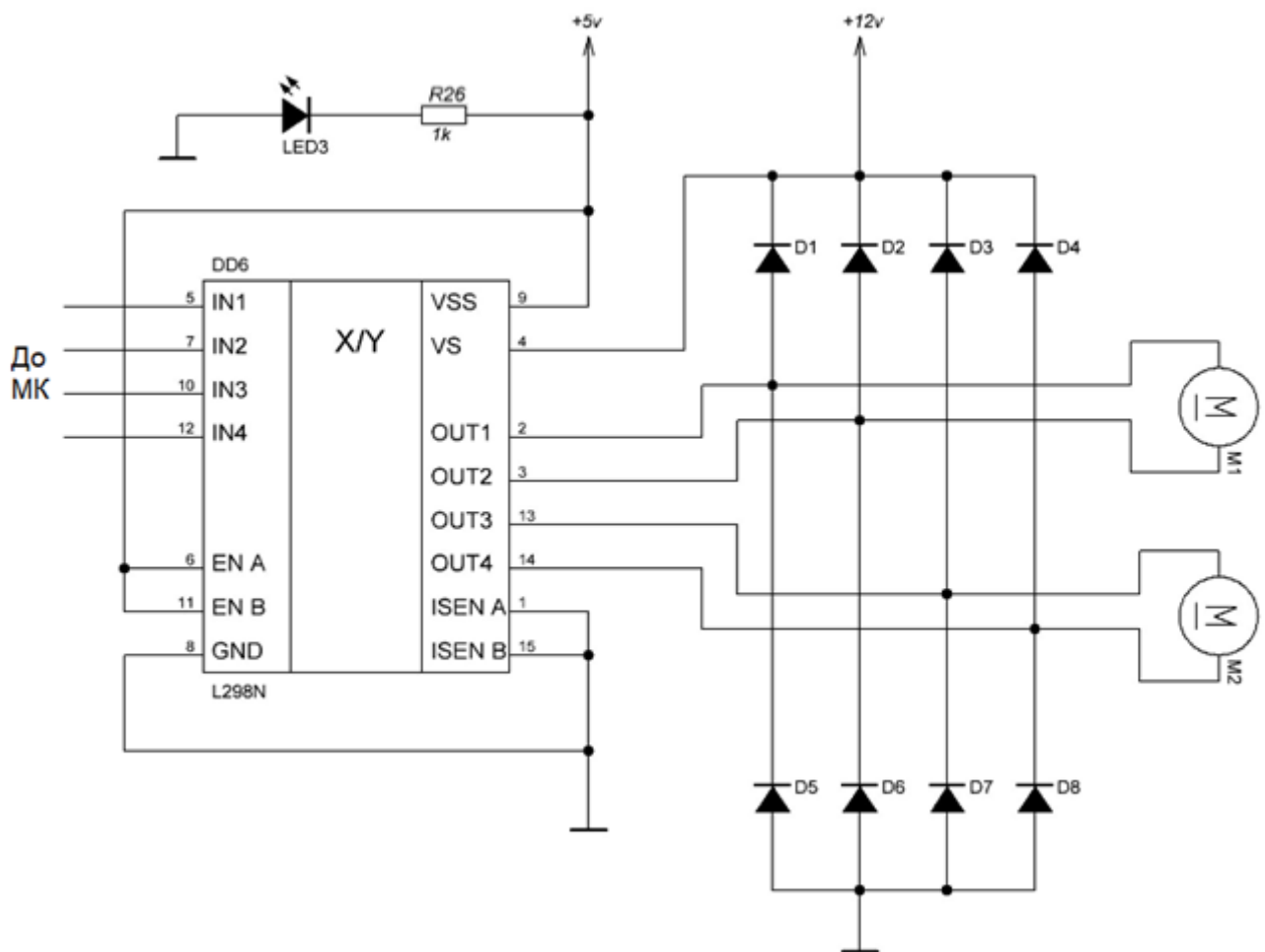


Рисунок 2.20 – Типова схема підключення мікросхеми L298N

Для живлення обох двигунів використовується живляча напруга +12В.

Діоди D1-D4, D5-D8 встановлюються для захисту мікросхеми від зворотного струму. Встановлення даних компонентів обов'язкове.

### 3 НАУКОВО – ДОСЛІДНИЦЬКА ЧАСТИНА

#### 3.1 Зняття вольт-амперної характеристики сонячної батареї

При розробці трекера були зняті вольт-амперні характеристики сонячної батареї (СБ) при різній освітленості: в умовах яскравого сонячного світла, хмарності, різних кутах нахилах.

Наведемо таблиці залежностей ВАХ при яскравому сонячному випромінюванні і різними умовами, де  $lm_1$  - площа сонячної батареї перпендикулярна Сонцю;  $lm_2$  - площа сонячної батареї перпендикулярна до Сонця і батарея знаходиться за склом;  $lm_3$  - між сонячним випромінюванням і площиною сонячної батареї 60 градусів;  $lm_4$  - між сонячним випромінюванням і площиною сонячної батареї 60 градусів і батарея знаходиться за склом.

Таблиця 3.1 – ВАХ сонячної батареї за умов  $lm_1$  і  $lm_2$

R, Ом	$lm_1$			$lm_2$		
	U, В	I, мА	P, мВт	U, В	I, мА	P, мВт
6,7	0,83	125	103	0,7	104	71
22,7	2,74	121	329	2,34	103	238
44,7	5,21	117	606	4,22	95	396
110,4	9,85	90	878	8,64	79	674
230	12,83	57	716	11,97	53	622
252,7	12,86	52	654	12,02	48	571
274,7	12,9	48	606	12,16	45	538
340,4	13,06	39	501	12,28	37	443
477	13,31	29	372	12,87	28	347
922	13,51	16	199	13,29	15	192
$\infty$	14,06	0	0	13,59	0	0

Таблиця 3.2 – ВАХ сонячної батареї за умов  $lm_3$  і  $lm_4$

R, Ом	$lm_1$			$lm_2$		
	U, В	I, мА	P, мВт	U, В	I, мА	P, мВт
6,7	0,83	125	103	0,7	104	71

Продовження таблиця 3.2

22,7	2,74	121	329	2,34	103	238
44,7	5,21	117	606	4,22	95	396
110,4	9,85	90	878	8,64	79	674
230	12,83	57	716	11,97	53	622
252,7	12,86	52	654	12,02	48	571
274,7	12,9	48	606	12,16	45	538
340,4	13,06	39	501	12,28	37	443
477	13,31	29	372	12,87	28	347
922	13,51	16	199	13,29	15	192
$\infty$	14,06	0	0	13,59	0	0

Проінтерполюємо знайдені значення в математичному пакеті MathCad 15 і представимо отримані ВАХ у вигляді графіка на рисунку 15.

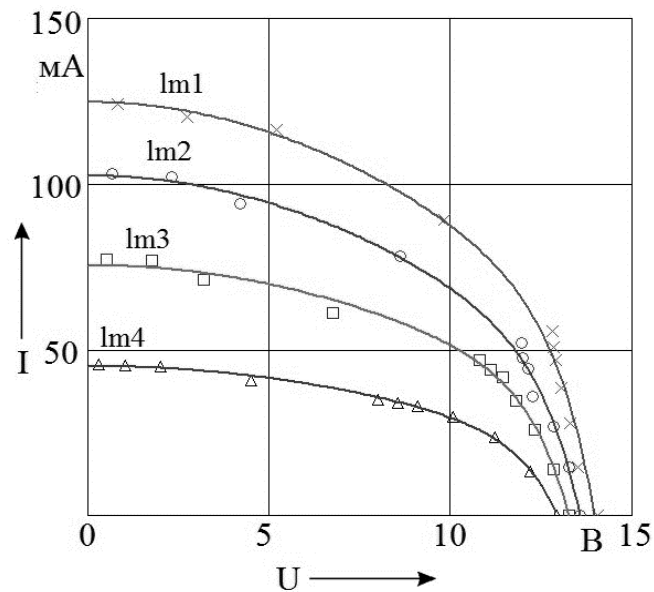


Рисунок 3.1 – ВАХ сонячної батареї при різній освітленості

В результаті інтерполяції була знайдена формула, яка визначає функції ВАХ сонячної батареї:

$$f(u, K) = K_0 + K_1 e^u + K_2 u^2, \quad (3.1)$$

де  $u$  - напруга СБ;

$K_0$ - $K_2$  - коефіцієнти інтерполяції.

Були підібрані коефіцієнти для кожного випадку освітленості  $lm1$ - $lm4$ , які представлені на рисунку 3.2.

$$K_{lm1} = \begin{pmatrix} 124.699 \\ -4.623 \times 10^{-5} \\ -0.363 \end{pmatrix} \quad K_{lm3} = \begin{pmatrix} 75.297 \\ -5.99 \times 10^{-5} \\ -0.224 \end{pmatrix}$$

$$K_{lm2} = \begin{pmatrix} 102.505 \\ -5.371 \times 10^{-5} \\ -0.329 \end{pmatrix} \quad K_{lm4} = \begin{pmatrix} 44.926 \\ -4.832 \times 10^{-5} \\ -0.147 \end{pmatrix}$$

Рисунок 3.2 - інтерполяційні коефіцієнти ВАХ сонячної батареї при різній освітленості

Наприклад, в разі освітленості  $lm1$  отримаємо формулу:

$$I = 124,699 - 4,623 \cdot 10^{-5} e^U - 0,363 \cdot U^2 \quad (3.2)$$

Можемо зробити висновок про те, що сонячна батарея втрачає 20-25% потужності, якщо розташувати її за склом, яке буде відбивати частину сонячного випромінювання. Більший кут між площиною сонячної батареї і сонячним випромінюванням відповідно також зменшує енергетичне вироблення.

Проінтерполюємо і представимо графік залежності потужності СБ від опору навантаження  $P(R)$  на рисунку 3.3.

Для спрощення задачі знаходження кривих  $P(R)$  скористаємося методом інтерполяції сплайнами, як швидким і ефективним способом інтерполяції функцій.

При яскравому сонячному світлі в разі  $lm1$  навантаження в 110,4 Ом показує найбільшу потужність, але для проведення основного експерименту і для подальшої експлуатації пристрою встановимо навантаження в 230 Ом. З даним навантаженням трекер буде видавати потрібну генерацію електроенергії в умовах хмарності, а також буде краще реагувати в приміщеннях при штучному освітленні.

Зняті залежності (особливо розрахована залежність потужності СБ від опору) показово демонструють, що в залежності від навантаження робоча точка сонячної батареї може бути зрушена в область мінімальної або навіть нульової

генерації. Внаслідок цього важливим моментом є узгодження сонячної батареї з навантаженням.

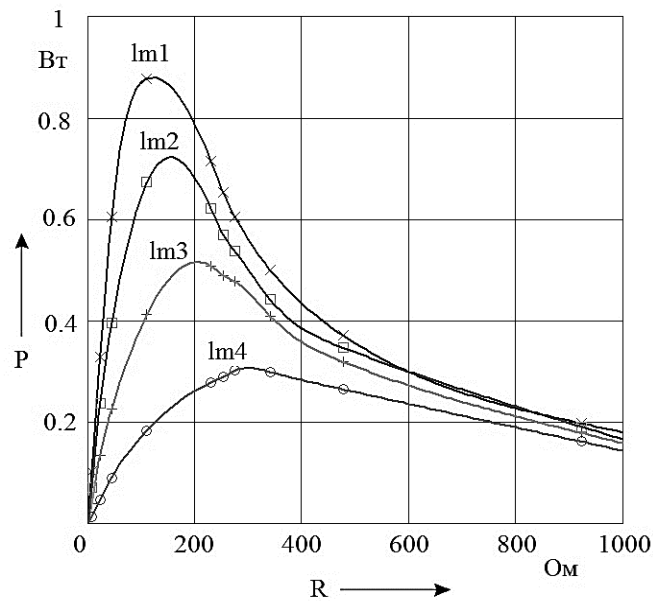


Рисунок 3.3 - Графік залежності потужності СБ від опору навантаження  $P(R)$

### 3.2 Проведення основного експерименту

Суть експерименту: порівняння енергетичного вироблення при стаціонарній установці сонячної батареї і використанням сонячної батареї із застосуванням двохосового сонячного трекара з горизонтальною і вертикальною осями обертання.

Експеримент проводиться, починаючи з 12:40 (час піку Сонця в м. Суми), спочатку для горизонтальної осі обертання, потім в інший день для вертикальної осі обертання (кути нахилу СБ для обох видів обертання  $53^\circ$ , даний кут є оптимальним річним кутом для м. Суми). З інтервалом в 5 хвилин знімаються значення напруги на навантаженні. Трекер повертають двигуни із заходу на схід, фіксуючи значення напруги на півдні (стаціонарна установка СБ) і значення максимуму сонячної освітленості. Отримані дані порівнюються між собою.

При проведенні експерименту було отримано 83 значення напруги на навантаженні для кожного варіанта установки сонячної батареї протягом дня, перетворимо отримані дані в потужність, як відношення квадрата вимірюваної напруги до опору навантаження, і представимо їх у таблиці 3.3.

Лінійно проінтерполюємо отримані значення і представимо графіки залежностей потужності від часу.

На рисунку 3.4 представлені графіки залежності потужності від часу при проведенні експерименту з горизонтальною віссю обертання, де р1 - вироблення при стаціонарній установці СБ, р2 - вироблення з використанням трекера з горизонтальною віссю обертання.

На рисунку 3.5 представлені графіки залежності потужності від часу при проведенні експерименту з вертикальною віссю обертання, де р1 - вироблення при стаціонарній установці СБ, р2 - вироблення з використанням трекера з вертикальною віссю обертання.

Таблиця 3.3 – ВАХ сонячної батареї за умов  $lm3$  і  $lm4$

Час t, г:хв	Горизонтальна вісь обертання				Вертикальна вісь обертання			
	Стаціонарна система р2		Використання трекера р1		Стаціонарна система р2		Використання трекера р1	
	U, В	P, Вт	U, В	P, Вт	U, В	P, Вт	U, В	P, Вт
12:40	14,56	0,946	14,817	0,963	14,180	0,884	14,312	0,900
12:45	14,22	0,903	14,443	0,916	13,453	0,797	13,595	0,813
12:50	14,11	0,890	14,332	0,902	13,504	0,803	13,564	0,810
12:55	13,90	0,864	14,150	0,880	13,696	0,825	13,837	0,842
13:00	13,71	0,840	13,989	0,861	13,534	0,806	13,665	0,822
13:05	13,85	0,857	14,170	0,882	13,696	0,825	13,807	0,838
13:10	13,93	0,868	14,231	0,890	13,645	0,819	13,857	0,844
13:15	13,76	0,846	14,100	0,874	13,615	0,816	13,776	0,835
13:20	13,74	0,844	14,069	0,870	13,797	0,837	13,938	0,854
13:25	13,72	0,842	14,019	0,864	13,696	0,825	13,888	0,848
13:30	13,79	0,850	14,090	0,873	13,595	0,813	13,746	0,831
13:35	13,72	0,842	14,019	0,864	13,271	0,776	13,484	0,801
13:40	13,74	0,844	14,069	0,870	13,635	0,818	13,877	0,846
13:45	13,84	0,856	14,251	0,892	13,696	0,825	13,938	0,854
13:50	13,74	0,844	14,069	0,870	13,746	0,831	13,908	0,850
13:55	13,66	0,835	13,989	0,861	13,504	0,803	13,746	0,831
14:00	13,67	0,836	13,999	0,862	13,665	0,822	13,877	0,846

Продовження таблиці 3.3

14:05	13,68	0,837	14,019	0,864	13,615	0,816	13,827	0,840
14:10	13,76	0,846	14,059	0,869	13,746	0,831	13,989	0,861
14:15	13,84	0,856	14,251	0,892	13,716	0,827	13,938	0,854
14:20	13,63	0,831	13,968	0,857	13,544	0,808	13,827	0,840
14:25	13,56	0,823	14,039	0,867	13,665	0,822	13,989	0,861
14:30	13,68	0,837	14,100	0,874	13,665	0,822	13,918	0,851
14:35	13,6	0,827	14,019	0,864	13,756	0,832	13,958	0,856
14:40	13,56	0,823	14,049	0,868	13,564	0,810	13,807	0,838
14:45	13,63	0,831	13,968	0,857	13,665	0,822	13,918	0,851
14:50	13,55	0,822	14,039	0,867	13,675	0,823	13,938	0,854
14:55	13,69	0,838	14,110	0,875	13,675	0,823	13,999	0,862
15:00	13,6	0,827	14,019	0,864	13,534	0,806	13,837	0,842
15:05	13,68	0,837	14,100	0,874	13,514	0,804	13,807	0,838
15:10	13,6	0,827	14,039	0,867	13,342	0,784	13,675	0,823
15:15	13,56	0,823	14,069	0,870	13,625	0,817	13,625	0,817
15:20	13,55	0,822	14,039	0,867	13,140	0,762	13,716	0,827
15:25	13,32	0,795	13,958	0,856	13,211	0,770	13,827	0,840
15:30	13,27	0,789	13,888	0,848	13,160	0,764	13,776	0,835
15:35	13,11	0,771	13,837	0,842	12,999	0,745	13,746	0,831
15:40	12,98	0,755	13,675	0,823	12,847	0,728	13,645	0,819
15:45	13,27	0,789	13,958	0,856	12,888	0,733	13,665	0,822
15:50	13,03	0,762	13,726	0,829	12,706	0,713	13,564	0,810
15:55	12,97	0,754	13,726	0,829	12,595	0,701	13,534	0,806
16:00	12,69	0,723	13,615	0,816	12,635	0,705	13,595	0,813
16:05	12,92	0,748	13,888	0,848	12,474	0,688	13,615	0,816
16:10	12,65	0,718	13,726	0,829	12,544	0,696	13,696	0,825
16:15	12,61	0,714	13,776	0,835	12,312	0,671	13,595	0,813
16:20	12,21	0,671	13,635	0,818	12,150	0,653	13,585	0,812
16:25	12,21	0,671	13,665	0,822	12,120	0,650	13,696	0,825
16:30	12,61	0,714	14,039	0,867	11,908	0,628	13,615	0,816
16:35	12,04	0,652	13,726	0,829	11,777	0,615	13,645	0,819
16:40	10,93	0,541	13,110	0,758	11,504	0,588	13,595	0,813
16:45	11,97	0,645	13,746	0,831	11,403	0,578	13,635	0,818
16:50	12,02	0,650	13,938	0,854	11,241	0,563	13,635	0,818

Продовження таблиці 3.3

16:55	11,96	0,644	13,958	0,856	10,898	0,529	13,484	0,801
17:00	11,42	0,589	13,958	0,856	10,494	0,493	13,433	0,795
17:05	10,22	0,476	13,271	0,776	10,403	0,484	13,484	0,801
17:10	11,07	0,554	14,049	0,868	10,171	0,464	13,645	0,819
17:15	10,91	0,539	13,827	0,840	9,878	0,438	13,534	0,806
17:20	10,6	0,510	13,807	0,838	9,474	0,405	13,514	0,804
17:25	10,44	0,495	13,776	0,835	8,858	0,357	13,403	0,791
17:30	10,19	0,473	13,918	0,851	8,484	0,328	13,453	0,797
17:35	9,82	0,440	13,807	0,838	8,302	0,315	13,403	0,791
17:40	9,58	0,420	13,877	0,846	7,626	0,270	13,352	0,786
17:45	9,13	0,383	13,746	0,831	7,131	0,237	13,261	0,775
17:50	8,9	0,365	13,746	0,831	6,666	0,210	13,110	0,758
17:55	7,89	0,291	13,463	0,798	6,383	0,195	13,130	0,761
18:00	6,09	0,181	13,372	0,788	5,949	0,172	13,140	0,762
18:05	6,54	0,206	13,675	0,823	5,737	0,161	13,029	0,748
18:10	5,94	0,173	13,595	0,813	5,525	0,150	12,979	0,743
18:15	5,76	0,164	13,504	0,803	5,282	0,139	12,766	0,719
18:20	5,31	0,142	13,433	0,795	4,050	0,090	12,595	0,701
18:25	4,48	0,107	13,322	0,782	3,939	0,086	12,393	0,679
18:30	4,03	0,090	13,241	0,773	3,788	0,081	12,221	0,661
18:35	2,63	0,049	12,059	0,644	3,687	0,078	12,019	0,640
18:40	3,08	0,061	13,292	0,779	3,525	0,073	11,696	0,607
18:45	2,56	0,048	12,635	0,705	3,060	0,060	11,514	0,589
18:50	2,47	0,046	12,888	0,733	2,879	0,056	11,191	0,558
18:55	2,31	0,042	12,716	0,714	2,636	0,049	10,676	0,509
19:00	2,1	0,038	12,383	0,678	2,404	0,044	10,231	0,469
19:05	1,86	0,034	11,827	0,620	2,182	0,040	9,696	0,423
19:10	1,63	0,031	11,453	0,583	1,889	0,035	8,908	0,361
19:15	1,31	0,027	9,534	0,410	1,596	0,031	7,817	0,282
19:20	1,21	0,026	9,211	0,384	1,283	0,027	6,323	0,191
19:25	1,05	0,024	8,615	0,338	1,030	0,024	4,888	0,122
19:30	0	0	0	0	0	0	0	0

Розрахуємо значення площ під кривими для знаходження генерації енергії за весь день. Для цього візьмемо певний інтеграл, межі якого будуть інтервалом часу проведення експерименту, а функціями - знайдені залежності.



Знайдемо вироблення енергії в перший день і порівняємо їх між собою, де P1 - генерація при використанні трекера з горизонтальною віссю обертання, P2 - генерація при стаціонарній установці СБ:

$$\frac{P_1}{P_2} = \frac{\int_{12.667}^{19.5} P_1(t) dt}{\int_{12.667}^{19.5} P_2(t) dt} = \frac{5,351 \text{ Вт} \cdot \text{год}}{3,884 \text{ Вт} \cdot \text{год}} = 1,377 \quad (3.3)$$

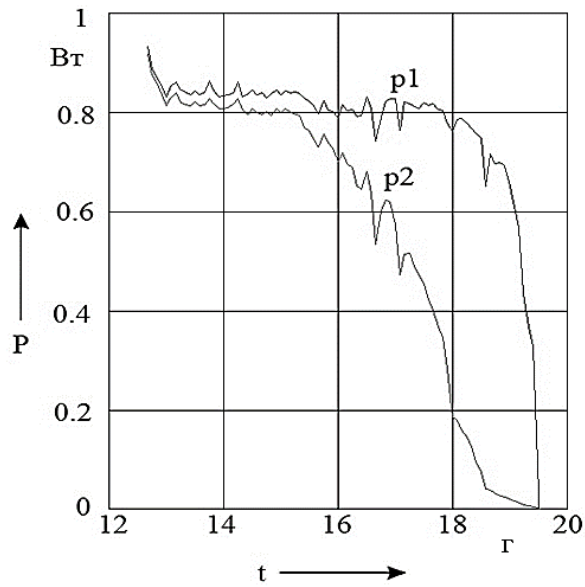


Рисунок 3.4 - Експеримент з горизонтальною віссю обертання

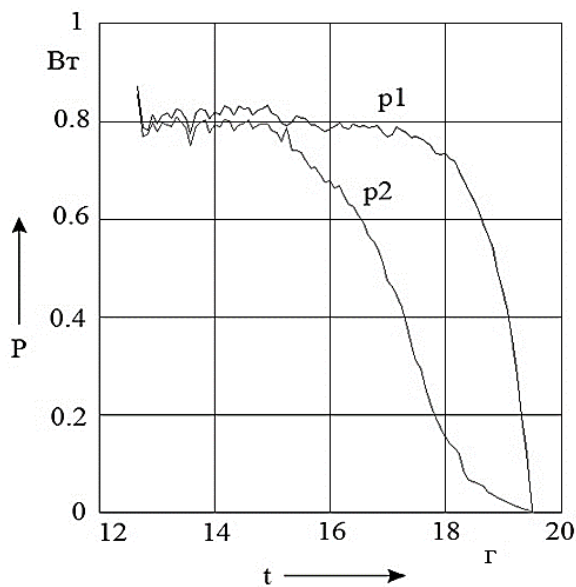


Рисунок 3.5 - Експеримент з вертикальною віссю обертання

Знайдемо генерацію енергії в другий день і порівняємо їх між собою, де  $P_1$  - генерація при використанні трекера з вертикальною віссю обертання,  $P_2$  - генерація при стаціонарній установці СБ:

$$\frac{P_1}{P_2} = \frac{\int_{12.667}^{19.5} P_1(t) dt}{\int_{12.667}^{19.5} P_2(t) dt} = \frac{4,978 \text{ Вт} \cdot \text{год}}{3,550 \text{ Вт} \cdot \text{год}} = 1,402 \quad (3.4)$$

Виходячи із даних експерименту і аналізу видно, що з точки зору вихідної потужності сонячні панелі розташовані на трекері у порівнянні зі стаціонарною їх установкою, значно ефективніші. Потужність, що виділяється панелями прямо пропорційна інтенсивності падаючого на їх поверхню світла. Панелі, які протягом всього дня повернені до Сонця, отримують набагато більше світла, це означає, що вихідна потужність збільшується, а отже збільшується і ефективність. Було також помічено, що найбільше підвищення ефективності, у випадку використання трекера, було вранці і в вечірні часи, в той час коли стаціонарна система майже не отримувала світла. В середині дня панелі отримували майже однакову інтенсивність і тому різниця в виділеній потужності була незначною.

Основною метою даного проекту було підвищення ефективності при використанні сонячних панелей. Розроблена автоматична система стеження за Сонцем, розроблена на базі мікроконтролера STM32VLDISCOVERY зі своєю задачею впоралася.

В результаті ми бачимо, що використання сонячного трекера дає приріст у виробленні енергії до 40%. Результати експерименту опубліковано в тезах [35]. Цікаво те, що надбавка у виробленні практично не залежить від того, яку вісь обертання ми вибрали.

## 4 ТЕХНІКО – ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА

### 4.1 Розрахунок економічного ефекту проектного пристрою

#### 4.1.1 Розрахунок повної собівартості розроблюваного пристрою.

Собівартість розроблюваного пристрою - це виражені в грошовій формі поточні витрати підприємства на його виробництво і збут. Витрати на виробництво утворюють виробничу (заводську) собівартість, а витрати на виробництво і збут - повну собівартість. Розрахунок собівартості продукту, що розробляється за статтями витрат називається калькуляцією. Калькуляція собівартості розроблюваного пристрою здійснюється відповідно до «Типового положення з планування, обліку і калькуляції собівартості продукції (робіт, послуг) в промисловості».

Витрати, пов'язані з виробництвом і збутом (реалізацією) розроблювального пристрою групуються за такими статтями:

- основна заробітна плата;
- додаткова заробітна плата;
- відрахування від заробітної плати;
- матеріали і комплектуючі;
- оренда машинного часу або РСЕО;
- виробничі витрати;
- адміністративні витрати;
- позавиробничі (комерційні витрати).

**1) Матеріали та комплектуючі виробу.** Розглядаються виходячи з відомостей на матеріали, сировину, комплектуючі, кооперацію, яка припадає на одиницю випуску. Згруповані однорідні електричні компоненти розроблювального пристрою представлені в табл. 4.1, витрати на сировину і матеріали представлені в табл. 3.2. Ціни на комплектуючі взяті з глобальної торговельної площадки «Aliexpress» - <http://www.aliexpress.com> 6.12.2018.

З урахуванням транспортно-заготівельних витрат (кт.з. = 5-15%) вартість комплектуючих і матеріалів становить:

$$\begin{aligned} KM &= \frac{(K + M) \cdot (100 + k_{m.p.})}{100} = \frac{(2276 + 273,78) \cdot (100 + 10)}{100} \\ &= 2804,76 \text{ (Грн)} \end{aligned} \quad (4.1)$$

Таблиця 4.1 – Комплектуючі, що припадають на одиницю випуску

Назва	Ціна, грн
1. Плата STM32VLDISCOVERY	517,00
2. Модуль акселерометру	22,00
3. Модуль компасу	42,00
4. Драйвер для двигунів	42,00
5. Модуль годинника реального часу	30,00
6. Дисплей	37,00
7. Резистори	32,00
8. Модуль USB to TTL	34,00
9. Актуатори	1300,00
10. Блок живлення	200,00
11. Дроти	20,00
Всього	2276,00

Таблиця 4.2 – Витрати на сировину і матеріали

Матеріал, сировина	Одиниця вимірювання	Норма витрат	Ціна за одиницю, грн	Вартість, грн
Каніфоль	кг	0,04	32	1,28
Флюс з припоєм	кг	0,1	90	9
Фарба	кг	0,7	70	49
Сировина для корпусу	кг	0,2	150	30
Труба профільна	м	4,5	41	184,5
Сумарні витрати				273,78

**2) Витрати на основну заробітну плату.** Роботи по розробці пристрою ведуться в апаратній області. Для реалізації апаратної частини пристрою

необхідний 1 інженер – електронщик, який розробить схему структурну, функціональну, електричну принципову, конструкторську документацію і реалізує пристрій.

Для виконання всіх робіт, орієнтовно буде витрачено 1 місяць, Коли апаратна частина пристрою буде розроблена, починається виробництво пристрою, яке приблизно займе 2 робочих дня.

Витрати на основну заробітну плату розраховуються, використовуючи наступне співвідношення:

$$Z_0 = \sum_{i=1}^n T_{\Gamma_i} \cdot H_{\text{ч}_i}, \quad (4.2)$$

де  $T_{\Gamma_i}$  - середня годинна тарифна ставка 1 робочого задіяного у виробництві продукту (грн. / год);

$H_{\text{ч}_i}$  - витрачений працівником час на виготовлення і налагодження приладу (годин.);

$n$  - кількість працівників задіяних у виробництві.

Основна заробітна плата для кожного працівника розраховується індивідуально. При восьмигодинному робочому дні, термін роботи для інженера 1 міс. = 21 р.д. = 168 годин. Орієтовна середньочасова трудова ставка становить:

$$T_{\Gamma_i} = \frac{T_{\text{м}_i}}{B_{\Phi_i} \cdot 8}, \quad (4.3)$$

$T_{\text{м}_i}$  - місячна заробітна плата фахівця (грн.);

$B_{\Phi_i}$  - фактично відпрацьований час за розрахунковий період (місяць), днів (змін);

8 - кількість відпрацьованих годин за зміну.

$$T_{\Gamma_i} = \frac{T_{\text{м}_i}}{B_{\Phi_i} \cdot 8} = \frac{4200}{21 \cdot 8} = 25 \text{ (грн/год)} \quad (4.4)$$

$$Z_0 = \sum_{i=1}^n T_{\Gamma_i} \cdot H_{\text{ч}_i} = 25 \cdot 168 = 4200 \text{ (грн)} \quad (4.5)$$

**3) Додаткова заробітна плата.** Складає в середньому  $10 \div 30\%$  від основної заробітної плати. До неї відносяться премії, заохочення, позаурочні, святкові.

$$З_д = З_о \frac{К_д}{100}, \quad (4.6)$$

де  $К_д$  - відсоток додаткової заробітної плати.

$$З_д = З_о \frac{К_д}{100} = 4200 \cdot \frac{10}{100} = 420 \text{ (грн)} \quad (4.7)$$

**4) Відрахування від заробітної плати.** До таких відрахувань відносяться: відрахування в пенсійний фонд - 33,2%, соціальне страхування - 2,9%, фонд зайнятості (безробіття) - 1,9%, нещасні випадки на виробництві - 0,5 - 1,0. Загалом, відрахування від заробітної плати становлять 38,52%.

$$V_{\text{соц}} = (З_о + З_д) \cdot \frac{(38,52)}{100} = (4200 + 420) \cdot \frac{38,52}{100} = 1779,6 \text{ (грн)} \quad (4.8)$$

**5) Витрати на утримання і експлуатацію обладнання.** Так як робоче виробниче обладнання знаходиться на балансі підприємства, витрати на утримання та експлуатацію устаткування (ВУЕУ) = заробітна плата  $\cdot$  % ВУЕУ (приймаємо % ВУЕУ = 120-150%), тобто маємо:  $4200 \cdot 1,2 = 5040$  (грн).

**6) Загальновиробничі витрати.** Являють собою витрати, пов'язані з управлінням підрозділу, витрати на службові відрядження працівників цеху (підрозділу), амортизаційні відрахування від вартості основних фондів загальноцехового призначення і т. д.

Визначаються в розмірі 130-250% від основної заробітної плати:

$$4200 \cdot 1,5 = 6300 \text{ (грн)}.$$

Сума статей 1.1 - 1.6 являє виробничу собівартість приладу (установки).

$$\text{Маємо: } 2804,76 + 4200 + 420 + 1779,6 + 5040 + 6300 = 20544,4.$$

**7) Адміністративні витрати.** Можуть містити в собі:

- витрати, пов'язані з управлінням підприємства;
- витрати на службові відрядження адміністрації підприємства;
- витрати на пожежну і сторожову охорону;
- витрати, пов'язані з підготовкою (навчанням) і перепідготовкою кадрів;
- витрати на перевезення працівників до місця роботи і назад;

- витрати на оплату відсотків за фінансові кредити, а також відсотків за товарні і комерційні кредити; витрати, пов'язані з оплатою відсотків за користування матеріальними цінностями, взятими в оренду (лізинг);

- витрати, пов'язані з оплатою послуг комерційних банків та інших кредитно-фінансових установ;

- податкові відрахування.

Визначаються в розмірі 140-200% відсотків від основної заробітної плати. Оціночно адміністративні витрати складуть 160% від  $Z_0$  - 6720 грн.

**8) Витрати на збут.** Включають витрати на рекламу і на підготовку приладу перед реалізацією. Орієнтовно ці витрати визначаються в розмірі 5-10% від виробничої собівартості. Оціночно витрати на збут складуть 1027,22 грн.

Сума статей 1.1-1.8 виявляє повну собівартість приладу:

$$20544,4 + 6720 + 1027,22 = 28291,62 \text{ (грн).}$$

Таблиця 4.3 - Калькуляція собівартості приладу

Назва	Ціна, грн
1. Матеріали і комплектуючі виробу	2276
2. Витрати на сировину і матеріали	273,78
3. Витрати на основну заробітну плату	4200
4. Додаткова заробітна плата	420
5. Відрахування від заробітної плати	1779,6
6. Витрати на утримання і експлуатацію устаткування	5040
7. Загальновиробничі витрати	6300
Виробнича собівартість	20544,4
8. Адміністративні витрати	6720
9. Витрати на збут	1027,22
Повна собівартість приладу	28291,62

#### 4.1.2 Визначення ціни приладу

1) **Розрахунок оптової ціни приладу.** У ринковій економіці існують різні методи ціноутворення: собівартість плюс прибуток, забезпечення фіксованого обсягу прибутку, в залежності від рівня попиту і т. д. Розрахунок оптової ціни приладу проводиться за схемою «собівартість плюс прибуток». Відповідно до даної методики оптова ціна виробу визначається як:

$$Ц_{\text{опт.}} = C + П, \quad (4.9)$$

де  $C$  - повна собівартість приладу;

$П$  - розмір прибутку.

Прибуток визначається виходячи з нормативу (показника) рентабельності виробництва продукції встановленого підприємством:

$$R = \frac{П}{C} \cdot 100\%, \quad (4.10)$$

де  $R$  - рентабельність продукції (продукту), приймається в розмірі 35%. Тоді оптова ціна визначається:

$$Ц_{\text{опт.}} = C + \frac{R \cdot C}{100} = 28291,62 + \frac{0,35 \cdot 28291,62}{100} = 38193,7 \text{ (грн)} \quad (4.11)$$

2) **Відпускна ціна приладу.** Відпускна ціна приладу включає податок на додаткову вартість:

$$Ц_{\text{відп.}} = Ц_{\text{опт.}} \cdot 1,2 = 38193,7 \cdot 1,2 = 45832,44 \text{ (грн)} \quad (4.12)$$

де 20% - ПДВ.

Позитивні сторони даної методики полягають в її простоті, комплексної очевидності такої функції ціни як відшкодування витрат на виробництво і забезпечення прибутковості від створення і реалізації ПО. Недолік даної методики полягає в тому, що вона недостатньо враховує ринкові чинники ціноутворення і насамперед попит. Однак у реальній перехідній економіці існують ситуації, коли підприємствам доцільно її застосовувати: в умовах відсутності конкуренції (монополії), при обмеженні рентабельності продукції з боку держави, виконанні одноразових замовлень, виготовленні оригінальної продукції.



Для встановлення реальної ціни, яка б відповідала умовам існуючого ринку приладу, потрібні маркетингові дослідження.

#### 4.1.3 Визначення річних витрат користувача.

Річні експлуатаційні витрати включають витрати на електричну енергію (живлення приладу), заробітну плату обслуговуючого персоналу, амортизаційні відрахування, витрати на поточний ремонт та інші витрати.

**1) Витрати на електричну енергію визначаються за формулою:**

$$V_e = W \cdot C_e \cdot t, \quad (4.13)$$

де  $W$  потужність приладу, кВт;

$C_e$  - вартість одного кВт · год, грн / кВт · год;

$t$  - час роботи приладу за рік.

Вартість електроенергії для промислових користувачів на 13.12.2018 становить 90 коп / кВт · год; кількість робочих днів в році - 259.

Потужність приладу складає 10 Вт.

$$V_e = W \cdot C_e \cdot t = 0,010 \cdot 0,90 \cdot 365 \cdot 13 = 42,7 \text{ (грн)} \quad (4.14)$$

**2) Розрахунок витрат на заробітну плату персоналу, який обслуговує прилад в разі потреби за формулою:**

$$Z_{\text{оп}} = \sum_{j=1}^m T_{m_j} \cdot k_{z_j} \cdot k_{d_j} \cdot k_{c_j} \cdot \text{Ч}_j \cdot 12, \quad (4.15)$$

де  $T_{m_j}$  - місячний оклад (ставка) фахівця  $j$ -ї професії;

$k_{z_j}$  - коефіцієнт зайнятості (залежить від часу обслуговування приладу фахівцем  $j$ -ої професії);

$k_{d_j}$  - коефіцієнт, який враховує додаткову заробітну плату (приймається  $k_{d_j} = 1,1-1,3$ );

$k_{c_j}$  - коефіцієнт, який враховує нарахування на заробітну плату (береться  $k_{c_j} = 1,363$ );

$\text{Ч}_j$  - кількість фахівців  $j$ -ої професії;

$m$  - кількість професій.

$$Z_{\text{оп}} = \sum_{j=1}^m T_{Mj} \cdot kz_j \cdot kd_j \cdot kc_j \cdot Ч_j \cdot 12 = 1500 \cdot 1,2 \cdot 1,2 \cdot 1,363 \cdot 1 \cdot 12 = 35328,96 \text{ (грн)} \quad (4.16)$$

Таблиця 4.4 - Розрахунок заробітної плати обслуговуючого персоналу

Вид обслуговування	Професія	Оклад, грн	Коефіцієнт зайнятості	Кількість персоналу, чол.		Річна заробітна плата, грн	
				По прибору аналога	По прибору проекта	По прибору аналога	По прибору проекта
Ремонт	Інженер	1500	1,2	1	1	36000	35329
Всього				1	1	36000	35329

**3) Річна сума амортизаційних** відрахувань визначається за відповідними нормами амортизації від первинної вартості приладу, яка включає: ціну приладу, витрати на транспортування і монтаж, які приймаються в розмірі 5-15% від ціни, приймаємо 1587,3 грн.

Амортизацію електронних приладів має сенс розраховувати прямолінійним методом:

$$A = F \cdot a = 45832,44 \cdot 0,05 = 2291,622 \text{ (грн)}, \quad (4.17)$$

де F - первинна вартість приладу;

a - річна норма амортизації,

$$F = Ц_{\text{розд.}} + B_{\text{т.м.}} = 45832,44 + 250 = 46082,44 \text{ (грн)}, \quad (4.18)$$

де Ц<sub>розд.</sub> - роздрібна ціна приладу;

B<sub>т.м.</sub> - витрати на транспортування і монтаж приладу.

Річна норма амортизації розраховується прямолінійним методом відповідно до терміну корисного застосування приладу:

$$a = \frac{1}{T_{\text{заст.}}} = \frac{1}{20} = 0,05, \quad (4.19)$$

де T<sub>заст.</sub> - строк корисного використання приладу, років. Відповідно до нового Податкового кодексу України дозволяється не менше 2 років.

**4) Витрати на поточний ремонт та інші витрати** включають в себе вартість електронних елементів, які виходять з ладу протягом року і вартість демонтажних і монтажних робіт. Витрати на ремонт приймаються рівними 5% від капітальних витрат з урахуванням прогнозування відмов:

$$B_{п.р.} = \frac{F \cdot k_{п.р.}}{100} = \frac{46082,44 \cdot 5}{100} = 2304,12 \text{ (грн)}, \quad (4.20)$$

де  $k_{п.р.}$  - відсоток витрат на поточний ремонт.

Таблиця 4.5 - Річні експлуатаційні витрати користувача

Статті експлуатаційних витрат	Річні експлуатаційні витрати, грн	
	Прилад-аналог	Проектний прилад
Вартість електроенергії	80	40
Витрати на обслуговування приладу	36000	35328,96
Амортизаційні відрахування	2500	2291,622
Витрати на поточний ремонт	2500	2304,12
Всього (Вр.е)	41080	39964,3

#### 4.1.4 Розрахунок повної ціни користувача.

Ціна користувача  $Ц_{пол.}$  Включає в себе капітальні вкладення  $F$  і сумарні річні витрати на експлуатацію приладу  $Вр.е.$  протягом застосування приладу:

$$Ц_{кор.} = F + B_{р.е.} \cdot T_{заст.} = 46082,44 + 39964,3 \cdot 20 = 845368,44 \text{ (грн)} \quad (4.21)$$

#### 4.1.5 Оцінка конкурентоспроможності проектного приладу.

Для оцінки конкурентоспроможності застосовується комплексний показник конкурентоспроможності  $Q_{кон.}$ , Що визначається за інтегральними показниками конкурентоспроможності приладів:

$$Q_{кон.} = \frac{Q_{н.п.} \cdot Q_{м.}}{Q_{е.}}, \quad (4.22)$$

де  $Q_{н.п.}$  - інтегральний показник за нормативними параметрами (може приймати виключно два значення: нуль, якщо прилад не відповідає обов'язковим для даного ринку нормам і стандартам (частота і напруга живлення, точність вимірювання, конструктивні розміри), і одиницю, якщо відповідає. В проектному приладі  $Q_{н.п.} = 1$ );

$Q_m$  - порівняльна конкурентоспроможність приладу по його технічному рівню (наприклад, якщо швидкість передачі, або пропускна здатність приладу збільшена у 2,5 рази, то  $Q_m = 2,5$ );

$Q_e$  - інтегральний економічний показник.

Таблиця 4.6 - Порівняння техніко-економічних показників системи-аналога і проектної електронної системи

Показники	Одиниця вимірювання	Значення	
		прибор-аналог	проектний прилад
<b>Технічні:</b>			
Потужність приладу	Вт	15	10
Середнє напрацювання на відмову	год	24	24
Маса	кг	10	8
<b>Економічні:</b>			
Відпускна ціна	грн	150293	45832,44
Річні експлуатаційні витрати користувача	грн	48245	35328,96
Повна ціна користувача	грн	96354,12	845368,44
Показник якості за технічним рівнем		1	1
Інтегральний економічний показник конкурентоспроможності		0,73	1,36
Комплексний показник конкурентоспроможності		1,1	1,9

Конкурентоспроможність по економічному показнику  $Q_e$  визначається за ціною користування виробів:

$$Q_e = \frac{C_{\text{вик.пр.}}}{C_{\text{вик.ан.}}}, \quad (4.23)$$

де  $C_{\text{вик.пр.}}$  - ціна використання проектного приладу;

$C_{\text{вик.ан.}}$  - ціна застосування приладу-аналога.

Якщо коефіцієнт конкурентоспроможності  $Q_{\text{кон.}}$  більше одиниці, відповідно система є конкурентоспроможною.

**Висновки:** з урахуванням розрахованих параметрів, можна зробити висновок про те, що розробка і впровадження даного пристрою має техніко-економічний сенс, так як він має високі експлуатаційні якості, більш низьку в порівнянні з аналогами вартість.

## ВИСНОВОК

1. Підвищити ефективність роботи фотоелектричних модулів (ФЕМ) допомагають трекери. Це спеціальні динамічні системи на які монтуються сонячні батареї, які мають рухливу конструкцію - вони автоматично змінюють кут нахилу і положення встановлених панелей відповідно до розташування сонця в певний момент часу. Вони забезпечують автоматичне орієнтування сонячних панелей по куту до горизонту, по азимуту (напрямку по сторонах світу), що дозволяє генерувати більшу кількість енергії.

2. Системи слідкування за сонцем класифікуються за таким параметром, як число осей. Трекер з однією поворотною віссю має одну ступінь свободи. Такі пристрої можуть бути горизонтальними, вертикальними і похилими. Горизонтальні варіації орієнтуються по відношенню до землі. Вони здатні забезпечувати високу продуктивність протягом весни і літа, коли сонце знаходиться високо в небі. Вертикальна модель орієнтована по відношенню до землі в вертикальному напрямку. Протягом усього дня вона робить обороти зі сходу на захід.

Що стосується трекерів, які мають дві поворотні осі, то вони володіють двома ступенями свободи. Одна з осей є основною і закріплюється по відношенню до землі, а друга розглядається як вторинна.

3. Серед типів систем управління можна виділити такі:

Пасивна – орієнтація панелей на Сонце виконується по сонячному календарю/годиннику. Забезпечує приріст до 39% у порівнянні зі статичною.

Активна – орієнтація виконується за допомогою сенсора освітлення. Приріст досягає 49% у порівнянні з статичною системою.

Комбінована – поєднання активної і пасивної систем.

4. Розроблено структурну схему і алгоритм функціонування пристрою.

5. Основною метою даного проекту було підвищення ефективності при використанні сонячних панелей. Розроблена автоматична система стеження за Сонцем, розроблена на базі мікроконтролера STM32VLDISCOVERY зі своєю задачею впоралася.

В результаті ми бачимо, що використання сонячного трекера дає приріст у виробленні енергії до 40%.

6. Розробка і впровадження даного пристрою має техніко-економічний сенс, так як він має високі експлуатаційні якості, більш низьку в порівнянні з аналогами вартість.

## СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Трекеры для солнечных электростанций [Electronic resource]. URL: <https://ru.alternative-energy.com.ua/vocabulary/трекеры-для-солнечных-электростанци/> (accessed: 11.11.2018).
2. Walsh A., Costola D., Chebel L. Review of methods for climatic zoning for building energy efficiency programs // *Build. Environ.* 2017. Vol. 112. P. 337–350.
3. Goncalves P., Orestes M. Photovoltaic solar energy: Conceptual framework // *Renew. Sustain. Energy Rev.* 2017. № 74. P. 590–601.
4. Трекеры [Electronic resource]. URL: <https://rent techno.ua/services/procurement/trackers.html> (accessed: 04.11.2018).
5. Солнечные трекеры [Electronic resource]. URL: <https://avtonomny-dom.ru/solnechnyie-batarei/solnechnyie-trekeryi.html> (accessed: 11.11.2018).
6. Mansour S., Anis D.W.R., Hafez D.I.M. Optimum Design Of On Grid Pv System Using Tracking System // *Int. J. Sci. Technol. Res.* 2015. Vol. 4, № 05. P. 50–57.
7. Трекер для фотоэлектрических установок [Electronic resource]. URL: <http://solarsoul.net/treker-dlya-fotoelektricheskix-ustanovok> (accessed: 11.11.2018).
8. Sohag H.A. et al. An accurate and efficient solar tracking system using image processing and LDR sensor // *2nd Int. Conf. Electr. Inf. Commun. Technol.* 2015. P. 522–527.
9. Twisha T. et al. Introducing Dual Axis Solar Tracker with Reflector to Increase Optimal Electricity Generation in Bangladesh // *Dev. Renew. Energy Technol.* 2014. № 3. P. 1–6.
10. Putro D., Kambey F. Sistem Pengaturan Pencahayaan Ruangan berbasis Android pada Rumah Pintar // *Natl. J. Electr. Eng.* 2016. Vol. 5, № 3. P. 296–307.
11. Cooke D. Single vs. Dual Axis Solar Tracking // *Altern. Energy e Magazine.* 2011.
12. Одноосные трекеры [Electronic resource]. URL: <http://ussolar.com.ua/ua/news/6-odnoosnye-trekery-povyshayut-effektivnost-solnechnoy-stantsii-na-15-17> (accessed: 10.11.2018).
13. Jain P., Kaur T. Optimization of Solar PV System and Analysis of Tilt Angle // *ACM Conf. Proc. eEnergy IS.* 2015. P. 14–17.
14. Solar tracker – Система ориентирования на Солнце [Electronic resource]. URL: [http://www.avislab.com/blog/solar-tracker\\_ru/](http://www.avislab.com/blog/solar-tracker_ru/) (accessed: 11.12.2018).

15. Студёнов Ю. Солнечные трекаеры: Відкритий електронний ресурс [Electronic resource]. URL: <http://ust.su/solar/media/section-inner79/3032/> (accessed: 01.11.2018).
16. Солнечный трекер, система слежения за солнцем [Electronic resource]. URL: <http://greenchip.com.ua/26-0-0-.html> (accessed: 11.11.2018).
17. Elsherbiny M.S. et al. Design Of Single-Axis And Dual-Axis Solar Tracking Systems Protected Against High Wind Speeds // Int. J. Sci. Technol. Res. 2017. Vol. 6, № 09. P. 84–89.
18. Ориентация солнечных панелей, слежение за солнцем, угол наклона солнечных батарей [Electronic resource]. URL: <http://www.solarhome.ru/basics/pv/techtilt.htm> (accessed: 01.11.2018).
19. Hafez A., Shazly J., Eteiba M. Comparative evaluation of optimal energy efficiency designs for solar tracking systems // Proc. Third Intentional Conf. Adv. Appl. Sci. Environ. Eng. 2015. P. 134–141.
20. Sharma P., Malhotra N. Solar Tracking System Using Microcontroller // Proc. 1st Int. Conf. Non Conv. Energy. 2014. P. 77–79.
21. Rizman Z. et al. Development of hybrid drone (HyDro) for surveillance application // J. Fundam. Appl. Sci. 2018. № 10. P. 816–823.
22. Rizman Z. et al. An improved controller for grass cutting application // J. Fundam. Appl. Sci. 2018. № 10. P. 806–815.
23. Rizman Z. et al. Smart multi-application energy harvester using Arduino // J. Fundam. Appl. Sci. 2018. № 10. P. 689–704.
24. Grover R. et al. A Competition-Based Approach for Undergraduate Mechatronics Education Using the Arduino Platform // 4th Interdiscip. Eng. Des. Educ. Conf. 2014. P. 78–83.
25. Mukul G. et al. Smart Solar Tracking System // Int. J. Eng. Res. Technol. 2015. Vol. 4, № 2. P. 367–369.
26. ESWARAN A. et al. AUTOMATIC SUN TRACKING SOLAR PANEL SYSTEM // Int. J. Res. Aeronaut. Mech. Eng. 2017. Vol. 5, № 5. P. 64–72.
27. Noorsal E. et al. An external control unit implemented for stimulator ASIC testing // J. Fundam. Appl. Sci. 2017. P. 710–733.
28. Noorsal E. et al. Multilevel inverter switching controller using a field programmable gate array (FPGA) // J. Fundam. Appl. Sci. 2014. P. 684–709.
29. Normanyo E., Awingo A. A Solar Radiation Tracker for Solar Energy Optimisation // Br. J. Appl. Sci. Technol. 2016. Vol. 14, № 4. P. 1–12.



30. RS-232 [Electronic resource]. URL: <http://www.softelectro.ru/rs232.html> (accessed: 10.12.2018).
31. Specification for LCD Module 1602A-1 (V1.2) [Electronic resource]. URL: <https://www.rhydolabz.com/documents/29/LCD-1602a-yellow.pdf> (accessed: 10.12.2018).
32. DS3231 arduino подключение — часы реального времени [Electronic resource]. URL: <http://usilitelstabo.ru/ds3231-arduino-podklyuchenie.html> (accessed: 11.12.2018).
33. Marne N.S., Nagmode M.S., Komati R.D. Vibration Measurement System with Accelerometer Sensor Based on ARM // Int. J. Emerg. Technol. Adv. Eng. 2014. Vol. 4, № 4. P. 760–764.
34. Драйверы двигателя L298N, L293D и Arduino Motor Shield [Electronic resource]. URL: <https://arduino-master.ru/datchiki-arduino/drajver-dvigatelya-i-motor-shield-arduino/> (accessed: 11.12.2018).
35. Шутько Ю.С., Курінський Б.Ю., Знаменщиков Я.В., Опанасюк А.С. Система керування трекером автономної сонячної електростанції (тези) // Всеукраїнська науково-практична конференція «Новітні технології сучасного суспільства» (НТСС-2018). 2018. Р. 1.