

Міністерство освіти і науки України  
Національний технічний університет  
«Дніпровська політехніка»

Інститут Електроенергетики  
(інститут)

Електротехнічний факультет  
(факультет)

Кафедра електропривода  
(повна назва)

**ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА**  
**кваліфікаційної роботи ступеня** магістра  
(бакалавра, спеціаліста, магістра)

студента Черниха Романа Олексійовича  
(ПІБ)

академічної групи 141М-17-4  
(шифр)

спеціальності 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка  
(код і назва спеціальності)

спеціалізації

за освітньо-професійною програмою Електромеханічні системи автоматизації та електропривод  
(офіційна назва)

на тему Електромеханічна система орієнтації сонячних батарей  
(назва за наказом ректора)

Керівники	Прізвище, ініціали	Оцінка за шкалою		Підпис
		рейтинговою	інституційною	
Кваліфікаційної роботи	<i>Бешта О.С.</i>			
Розділів:				
Технологічна частина	<i>Бешта О.С.</i>			
Автоматизований електропривод	<i>Бешта О.С.</i>			
Динаміка електропривода	<i>Бешта О.С.</i>			
Економічний	<i>Тимошенко Л.В.</i>			
<b>Рецензент</b>	<i>Ципленков Д.В.</i>			
<b>Нормоконтролер</b>	<i>Казачковський М.М.</i>			

**ЗАТВЕРДЖЕНО:**  
завідувач кафедри  
**Електропривода**  
(повна назва)

\_\_\_\_\_ Казачковський М.М.  
(підпис) (прізвище, ініціали)

«\_\_» \_\_\_\_\_ 2018 року

**ЗАВДАННЯ**  
**на кваліфікаційну роботу**  
**ступеня** \_\_\_\_\_ магістра  
(бакалавра, спеціаліста, магістра)

студенту \_\_\_\_\_ Черних Р.О., \_\_\_\_\_ академічної групи \_\_\_\_\_ 141М-17-4  
(прізвище та ініціали) (шифр)

спеціальності 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка

спеціалізації \_\_\_\_\_

за освітньо-професійною програмою Електромеханічні системи автоматизації та електропривод  
(офіційна назва)

на тему \_\_\_\_\_ Електромеханічна система орієнтації сонячних батарей

затверджену наказом ректора НТУ «Дніпровська політехніка» від 12.11.2018 № 1913-л

<b>Розділ</b>	<b>Зміст</b>	<b>Термін виконання</b>
Технологічна частина	<i>Розглянуто основи функціонування сонячних електростанцій та принципи роботи трекерних систем.</i>	22.10.18 – 4.11.18
Автоматизований електропривод	<i>Обрання електропривода та інших складових трекерної системи. Розробка системи керування системою</i>	5.11.18 – 18.11.18
Динаміка електропривода	<i>Розробка і побудова моделі.</i>	12.11.18 – 3.12.18
Економічна частина	<i>Розрахунок основних техніко-економічних показників впровадження дипломного проекту</i>	04.12.18 – 09.12.18

**Завдання видано**

\_\_\_\_\_ (підпис керівника)

Бешта О.С.

(прізвище, ініціали)

Дата видачі 15 жовтня 2018

Дата подання до екзаменаційної комісії 27.12.2018 р.

**Прийнято до виконання**

\_\_\_\_\_ (підпис студента)

Черних Р.О.

(прізвище, ініціали)

## РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка складається з 62 с., 35 рис., 3 табл., 45 джерел, презентація на 12 слайдах.

Об'єкт детальної розробки: розробка електромеханічної системи орієнтації сонячних батарей.

Мета роботи: розробити трекінгову систему для фотогальванічної електростанції.

Обрані елементи: сервопривод Lexium 32 D18N4, трифазний синхронний серводвигун ВМН 100 2Р, редуктор GBX 160, Програмований Логічний Контролер (ПЛК) Zelio.

Здійснено опис та розрахунок параметрів трекера та обрані відповідні комплектуючі.

Запрограмована система керування у програмному забезпеченні SoMove та ZelioSoft 2.

Була змодельована система синхронного електропривода у середовищі Simulink програмного забезпечення Matlab.

Був проведений порівняльний розрахунок двох типів сонячних електростанцій та зроблені висновки.

**СИНХРОННИЙ ДВИГУН, ТРЕКЕРНА СИСТЕМА, АЛЬТЕРНАТИВНІ ДЖЕРЕЛА ЕНЕРГІЇ, СИНТЕЗ САР, ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ, ФОТОГАЛЬВАНІЧНА ЕЛЕКТРОСТАНЦІЯ.**

## ABSTRACT

The explanatory notes consists of 62 pages, 35 figures, 3 tables, 45 sources, the presentation on 12 slides.

The object of detailed development: the development of electromechanical system of orientation for solar panels.

Objective: developing a tracking system for a photovoltaic power station.

Selected items: Lexium 32 D18N4 servo drive, BMH 100 2P three-phase synchronous servomotor, GBX 160 gearbox, Zelio Programmable Logic Controller (PLC).

A description and calculation of tracker parameters was made and the corresponding components were selected.

Programmed control system in SoMove and ZelioSoft 2 software.

A synchronous electric drive system was simulated in Matlab's Simulink software environment.

A comparative calculation of two types of solar power plants and conclusions were made.

SYNCHRONOUS MOTOR, TRACKING SYSTEM, ALTERNATIVE SOURCES OF ENERGY, SYNTHESIS OF BAR, ENERGY SAVING, PHOTOVOLTAIC ELECTRICITY.

## Зміст

Вступ.....	6
1. Технологічна частина.....	9
1.1 Астрономічні дані.....	9
1.2 Випромінення на статичних та відстежуючих поверхнях.....	10
1.3 Типи трекінгових систем.....	12
1.4 Опис обраного рішення.....	18
2. Автоматизований електропривод.....	25
3. Динаміка електропривода .....	40
4. Техніко-економічне обґрунтування .....	47
Вступ.....	47
4.1 Розрахунок капітальних витрат проектного варіанту.....	48
4.1.1 Амортизаційні відрахування проектного варіанту.....	51
4.1.2 Річна економія проектного варіанту.....	52
4.2 Розрахунок капітальних витрат статичного варіанту.....	53
4.2.1 Амортизаційні відрахування статичного варіанту.....	54
4.2.2 Річна економія статичного варіанту.....	55
4.3 Висновок.....	56
Висновки.....	57
Список використаних джерел.....	58

## Вступ

Пошук джерел, з яких можна отримати достатню кількості «чистої» енергії – одна із найскладніших та найважливіших задач для людства. Альтернативні джерела відновлюваної енергії, такі як сонячне випромінювання, можуть бути використані для потреб людства в електроенергії. Пряме перетворення сонячного світла в електричну енергію відбувається за допомогою сонячних фотоелектричних елементів.

В наш час, та у нашій країні зокрема, гостро стоїть питання енергетичної та економічної стабільності та автономності. В свою чергу, підвищення обсягу генерованої енергії, здобутої з альтернативних джерел, забезпечує не тільки позитивний економічний ефект, а також сприяє покращенню екологічного стану країни.

Український уряд спільно із зовнішніми інвесторами проводить кампанію, спрямовану на розвиток альтернативної енергетики шляхом встановлення «зеленого» тарифу. «Зелений» тариф – це та ціна, за яку держава зобов'язується купляти електроенергію генеруючих підприємств альтернативної енергетики.

Була проведена велика кількість досліджень на тему ефективності та доцільності розвитку сонячної енергетики в Україні. За останні роки технології виробництва сонячних панелей та перетворювальної техніки значно розвинулися, що призвело до зменшення цін та значного збільшення ККД складових електростанцій. За вихідними даними, а саме за кількістю сонячного випромінювання, що потрапляє на поверхню землі, Україна випереджає навіть лідера в галузі сонячної енергетики - Німеччину.

Добовий та сезонний рух Землі впливає на інтенсивність випромінювання, що надходить до сонячної електростанції. Сонячні панелі, що встановлені стаціонарно, дозволяють зібрати лише невелику частину від усієї енергії, що потрапляє на поверхню. Сонячні трекери переміщують

конструкції із сонячними панелями, зберігаючи оптимальну орієнтацію відносно Сонця для максимізації генерованої енергії.

Частина випромінюваної Сонцем енергії зменшується за рахунок розсіювання та поглинання енергії молекулами повітря. Випромінювання, що не відбивається та не розсіюється, а досягає поверхні, називається прямим випромінюванням. Розсіяне випромінювання, що досягає поверхні Землі називається, дифузним випромінюванням. Альbedo – це доля випромінювання, що досягає Землі та відбивається назад у атмосферу.

Пікова потужність (Вт) – це потужність, що створюється сонячним модулем, що знаходиться у стандартних умовах: інтенсивність сонячної енергії становить  $1000 \text{ Вт/м}^2$ , навколишня температура  $+25^\circ\text{C}$ , та спектр, близький до сонячного світла, що проходить через атмосферу, коли Сонце знаходиться на  $42^\circ$  над горизонтом (коли шлях через атмосферу в 1,5 рази більший, ніж коли Сонце знаходиться у зеніті). Враховуючи зміну інсоляції на протязі дня, середня електрична потужність на протязі року становить близько 20% від його значення  $W_p$ .

Хоча споживання енергії сонячним трекером невелике, його використання може збільшити кількість генерованої енергії, що перетворена із сонячної, на 10-100% у різні періоди часу та у різних географічних умовах.

Метою цього проекту є розробка комплексного рішення для трекінгової системи фотогальванічної електростанції з використанням сучасної елементної бази.

Для вирішення цієї задачі необхідно:

- Ознайомитись із процесами і технологією фотогальванічної генерації.
- Ознайомитись із компонентами сонячної електростанції.
- Провести аналіз різних видів трекінгових систем, та способів їх реалізацій.

- Ознайомитись із траєкторіями руху Землі навколо Сонця та навколо своєї осі для моделювання та задання параметрів електропривода.
- Розрахувати параметри електроприводу та обрати двигун і систему керування.
- Провести аналіз ринку електрообладнання.
- Обрати елементи системи електропривода, які відповідають вимогам, що забезпечують необхідні параметри роботи.
- Розробити функціональну схему системи автоматичного керування.
- Провести математичне моделювання обраного рішення.
- Дати техніко-економічне обґрунтування обраного технічного рішення

Збір інформації щодо трекінгових систем для фотогальванічних електростанцій був проведений за допомогою наукових досліджень, що були проведені на дану та суміжні теми, сайтів компаній, що займаються конструюванням та виробництвом комплектуючих частин, та за допомогою спілкування із менеджерами та інженерами компаній, що займаються проектуванням та будівництвом сонячних електростанцій.



# 1. Технологічна частина

## 1.1 Астрономічні дані

Земля обертається навколо Сонця за еліптичною орбітою, площину цієї орбіти називають екліптикою. Час, за який Земля проходить повний шлях за цією орбітою – це один рік. Відносно положення Сонця і Землі зручно відобразити за допомогою небесної сфери навколо Землі. Екваторіальна площина перетинає небесну сферу у небесному екваторі та полярну вісь у небесних полюсах. Потім рух Землі навколо Сонця відображається видимим рухом Сонця в еліптичній площині, котра нахилена під кутом  $23.45^\circ$  відносно небесного екватору. Кут між лінією, що з'єднує центри Сонця і Землі та її проекцією на екваторіальну площину, називається кутом схиляння Сонця. Цей кут дорівнює нулю весною (20/21 березня) та весною (22/23 вересня) у дні рівнодення.

Один оберт Землі відображається обертом небесної сфери навколо полярної вісі, а миттєве положення описується часовим кутом  $\omega$ , між меридіаном, що проходить через Сонце та меридіаном ділянки. Кут часу дорівнює нулю в істинний полудень і збільшується до сходу.

Для спостерігача на земній поверхні у місці с географічною широтою  $\phi$  зручна система координат визначається вертикальною лінією на ділянці, котра перетинає небесну сферу в двох точках, зеніті та надірі. Велике коло, що перпендикулярне вертикальній вісі, є горизонтом (рис 1.1).

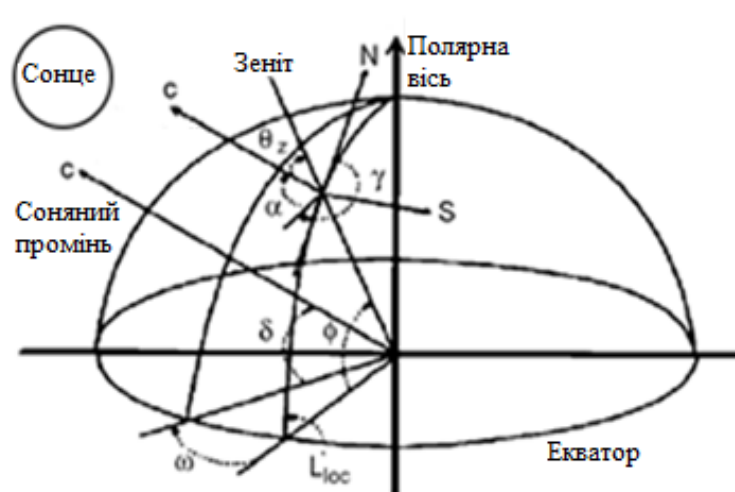


Рис 1.1 Схематичне зображення сонячних кутів.

Широта ( $\phi$ ) точки або місцезнаходження, є кут, створений радіальною лінією, що з'єднує місце розташування із центром Землі з проекцією лінії на екваторіальній площині. Вісь обертання Землі перетинає земну поверхню на  $90^\circ$  широтах (Північний полюс) та  $-90^\circ$  широтах (Південний полюс). Будь-яке місцеположення може бути визначено перетином кута довготи та кута широти.

Кут висоти Сонця ( $\alpha$ ) визначається як вертикальний кут між проекцією сонячних променів на горизонтальну площину та напрямом сонячних променів, що проходять через точку, як це показано на рис 1.1. Кут сонячного азимута ( $\gamma$ ) являє собою горизонтальний кут, вимірюваний із Півдня (в північній напівкулі) до горизонтальної проекції сонячних променів.

## 1.2 Випромінення на статичних та відстежуючих поверхнях.

Дані щодо інтенсивності сонячної радіації надаються у вигляді глобального випромінення на горизонтальній поверхні, а сонячні панелі зазвичай розташовують під кутом до горизонтальної площини, тому необхідно відповідним чином розрахувати енергію, що надходить у фотоелектричну систему. Зазвичай оптимальний кут нахилу статичних конструкцій становить  $25-40^\circ$  в Україні, залежно від широти.

Сонце рухається небом на протязі дня. У випадку статичних сонячних конструкцій проекція площі панелей на площину, перпендикулярна до напрямку випромінення, задається функцією косинуса кута падіння (рис 1.2).

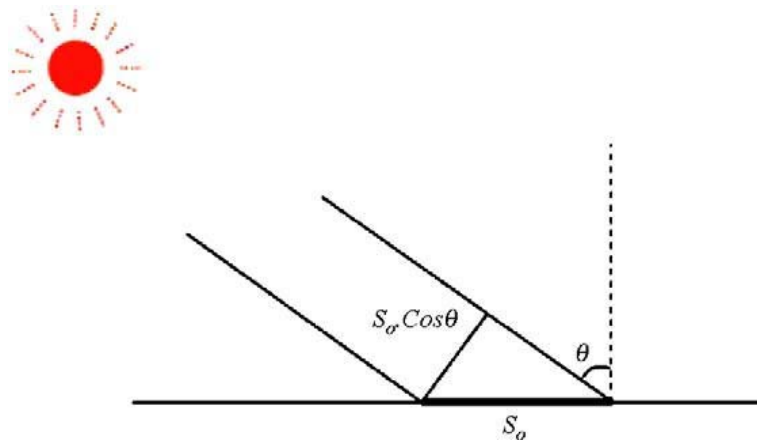


Рис. 1.2 — Кут падіння сонячного випромінення  $\theta$ .

Чим більший кут відхилення  $\theta$ , тим менша генерована потужність.

Теоретичний розрахунок генерованої енергії із використанням системи стеження здійснюється із припущенням, що максимальна інтенсивність випромінювання  $I = 1100 \text{Вт} \cdot \text{м}^2$  потрапляє на площину, орієнтовану перпендикулярно напрямку випромінення. Приймаючи довжину сонячного дня за 12 годин, що дорівнює 43200 с., потужність трекінгової системи, котра завжди орієнтована на Сонце, приблизно дорівнює потужності статичної системи тільки опівдні.

Розрахунок випроміненої енергії на одиницю площі розраховується за наступною формулою:

$$W = \int_{-21.6}^{+21.6} I \cdot S_0 \cdot \cos \omega t \, dt = IS \left[ \frac{\sin \omega t}{\omega} \right]_{-21.6}^{+21.6} = \frac{2 \cdot I \cdot S}{\omega} \quad (1.1)$$

Нехтуючи впливом атмосфери, енергія на одиницю площі для статичних систем в день дорівнює:

$$W = 8.41 \left( \text{кВт} \cdot \frac{\text{год}}{\text{м}^2} \right) \quad (1.2)$$

Для ідеальної трекінгової системи:

$$W = 13,2 \left( \text{кВт} * \frac{\text{год}}{\text{м}^2} \right) \quad (1.3)$$

Приведені розрахунки демонструють, що слідкуюча система отримує на 57% більше енергії, ніж статична. Із урахуванням впливу атмосфери інсоляція на поверхні Землі виявиться меншою.

### 1.3 Типи трекінгових систем

Під час розробки конкретного технічного рішення необхідно враховувати наступні фактори, такі як вартість, надійність, споживання електроенергії, технічне обслуговування та генерацію.

Системи стеження мають усі, або деякі із наступних характеристик:

- Один або два рушійних механізми;
- Датчик освітлення;
- Автономне або зовнішнє енергозабезпечення;
- Стеження та переміщення відповідно до календаря;
- Безперервний або дискретний рух;
- Стеження на протязі року або сезонне стеження.

На сьогоднішній день можна виділити два основні типи трекінгових систем, котрі відрізняються за типом приводного механізму:

- Пасивні трекери
- Активні трекери

Пасивні трекери не потребують електричної енергії для своєї роботи, так як використовують два фізичні явища, що призводять до механічного руху конструкції.

Перше явище – температурне розширення матеріалів. Цей фізичний ефект використовують у електротехніці в комутаційних пристроях. Друге явище – ефект пам’яті форми, що властиве деяким сплавам металів.

Перевагами пасивних систем є відсутність необхідності електроживлення та простота конструкції, що забезпечує високу надійність. Але такі системи мають ряд суттєвих недоліків, таких як складність розрахунків, для забезпечення необхідної точності та невеликі внутрішні сили у сплавах, що дає можливість використання таких систем лише у невеликих системах стеження.

Активні трекери мають необхідність у електричному живленні. За принципом керування активні трекери діляться на такі типи систем:

- Керування з фотоелектричними датчиками;
- Керування за заданим алгоритмом;
- Гібридна система керування;

Розглянемо спочатку принцип роботи системи керування із фотоелектричними датчиками. Робота такої системи базується на принципі порівняння показань фотелектричних датчиків за допомогою мікроконтролера, котрий в свою чергу формує керуючий сигнал, що відправляється на виконавчий пристрій. Пристроєм, що призводить до механічного руху є електропривод із редуктором.

Для правильної роботи трекінгової системи із фотоелектричними датчиками необхідно забезпечити дві основні умови: правильна установка цих датчиків та коректний програмний код мікроконтролера.

Задача програми мікроконтролера полягає у тому, щоб подавати керуючий сигнал на виконавчий пристрій при дотриманні одних умов (різниця показників датчиків) та вимкнути управляючий сигнал у момент дотримання іншої умови (відсутність різниці показників). Цей алгоритм повинен забезпечити високу точність зчитування даних та позиціонування та

відсікати коливання, що викликані похибкою вимірювання або шумом сигналу.

Правильна установка фотодатчиків повинна забезпечити необхідну різницю показників одної або більше пар фотоелектричних сенсорів. Існує три основні способи установки фотоелектричних датчиків. Схема установки зображені на рис. 1.3

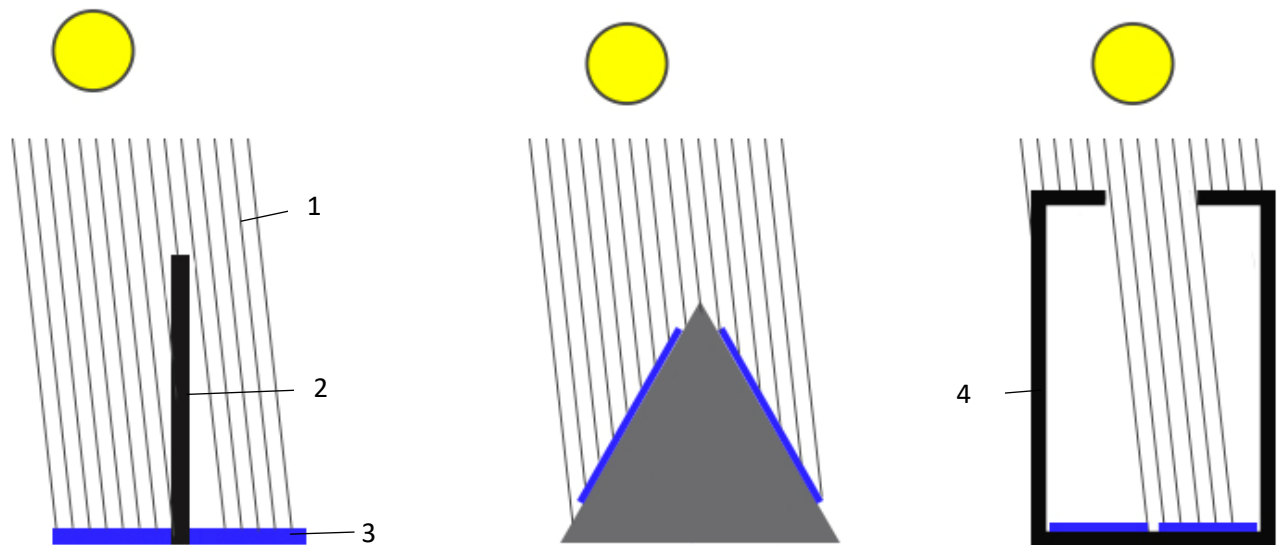


Рис. 1.3 – Схема встановлення фотоелектричних датчиків:

1 – сонячні промені; 2 – фотоелектричні датчики; 3 – затінюючий пристрій ; 4 – коліаторна трубка.

Перевагою таких систем, котрі використовують принцип порівняння показників фотоелектричних датчиків є відносна простота алгоритму роботи. Але їх основний та суттєвий недолік проявляється у хмарні дні. В такі дні датчики фіксують однакові показники з обох датчиків і орієнтується на умовне джерело світла, що знаходиться перпендикулярно до поверхності Землі. Тоді ПЛК формує такі керуючі сигнали, що платформа орієнтується паралельно до поверхні Землі. Після періоду затінення система починає

пошук нового положення Сонця. Така поведінка системи призводить до підвищених затрат електроенергії.

Система стеження за Сонцем, що керується попередньо заданим алгоритмом має перевагу над вищевказаною. Такий трекер має базу даних кутів відповідно до поточного часу, та не потребує встановлення датчиків. Програма контролера має базу даних кутів падіння сонячних променів згідно з кожним днем року.

Така система має певну гнучкість у налаштуванні. Адже можна задати різні інтервали в залежності від електроспоживання та генерованою електроенергією сонячних модулів.

Недоліком такої системи є відсутність зворотнього зв'язку, окрім генерованої інвертором енергії. Це означає, що при виникненні похибки або збою наслідки можливо виявити тільки через деякий час і за умови наявності даних для порівняння.

Але перевірка кута конструкції з деякою періодичністю може нівелювати цей недолік.

Активні трекерні системи мають недолік перед пасивними в тому, що для їх роботи необхідне постійне електроживлення. Однак активні трекари мають ряд переваг:

- Висока точність позиціювання;
- Значна несуча здатність;
- Гнучкість у налаштуванні;

Трекінгова система складається із металоконструкції та системи електропривода, котрий керує та призводить до руху масив електричних панелей у відповідності до положення Сонця та погодних умов, а також її системи живлення.

Існують одновісні та двовісні системи стеження. Для забезпечення більшої надійності конструкції в даній дипломній роботі буде спроектована одновісна трекінгова система, що слідує за полярним (екваторіальним) переміщенням. Таке рішення було прийнято за рядом причин:

- Така система є найбільш надійною в експлуатації;
- Не збільшує значно необхідну площу для розміщення конструкцій;
- Простота реалізації технічного рішення;
- Незначне ускладнення металоконструкції відносно стандартних рішень для статичних станцій;
- Має найбільшу економічну ефективність;

Також ця система забезпечує необхідну точність позиціонування та має здатність до самоочищення від снігу, що значно збільшує генерацію взимку, та позбавляє від експлуатаційних витрат на очищення від снігу.



Рис. 1.4 Сонячний трекер



Оцінити ефективність системи стеження за Сонцем відносно зі стаціонарною системою можна за допомогою порівняння генерованої електроенергії із врахуванням споживання трекера. Для цього необхідно провести розрахунок генерованої енергії стаціонарної станції із певною площею, потім необхідно зробити розрахунок генерації такої самої станції, але із трекерним пристроєм.

Для визначення споживаної та генерованої енергії станції із системою стеження необхідно виявити параметри трекера. Такі як:

- Площа сонячних панелей на конструкції трекера;
- Потужність двигуна та системи керування;
- Точність позиціонування;

Окрім того необхідно обрати сонячні панелі, інвертор та координати, для котрих будуть проведені розрахунки.

В Україні для фізичної особи державою дозволено оформлення сонячної електростанції із інверторною потужністю до 30 кВт. Панельну потужність обирають більшою приблизно у 1,2 рази для того, щоб інвертор працював якомога довше у піковому режимі, що призводить до збільшення генерації та максимального використання повного потенціалу інвертору.

Відносне розташування конструкцій з панелями залежить від декількох факторів:

- Географічна широта;
- Нахил поверхні землі;
- Кут нахилу металоконструкції;
- Конфігурація земної ділянки;
- Обрана степінь затінення;

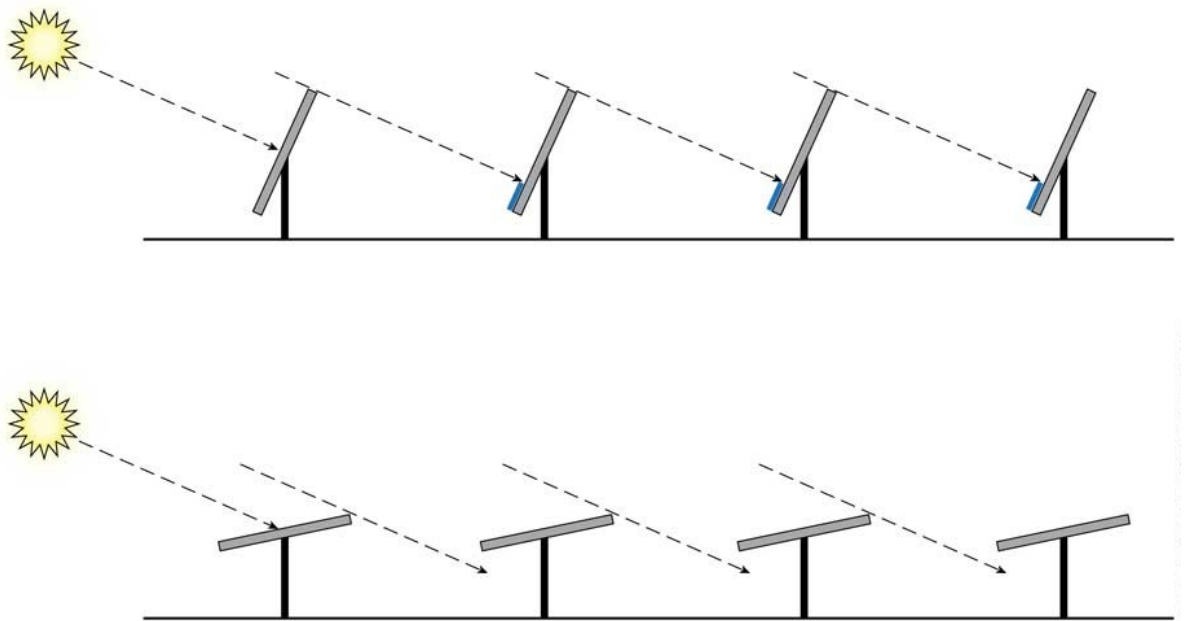


Рис. 1.5 Залежність кута падіння тіні від кута нахилу панелі

Найбільш ефективним є розташування одновісного трекеру за умовами, що є обмеження за потужністю, але немає обмеженості за площею, що дозволить розташування конструкцій із мінімальним затіненням.

За умови територіальної обмеженості більш економічно ефективним є розташування статичних конструкцій.

## 1.4 Опис обраного рішення

Стандартне рішення для встановлення сонячних панелей – це стіл 4x4 панелі із горизонтальною розкладкою. Це зумовлено тим, що із такою конфігурацією металоконструкції занадто не ускладнюються і ціна залишається оптимальною. А також така конфігурація дозволяє розмістити якомога більшу кількість сонячних панелей на мінімальну площу. Зазвичай така конструкція виготовлена із оцинкованої сталі.



Рис. 1.6 Стіл 4x4 панелей

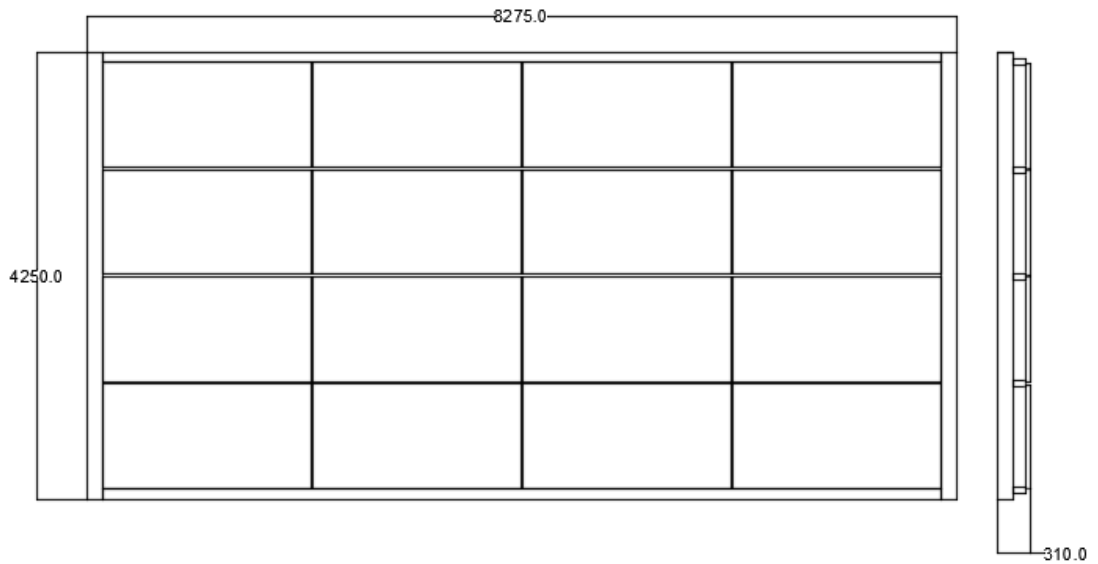


Рис. 1.7 Креслення столу 4x4 панелей в AutoCAD

Механічний рух конструкції може бути постійним або здійснюватися із деякою періодичністю. Розрахунки генерації та споживання показують, що найбільш ефективним є переміщення конструкції на фіксований кут близько  $5^\circ$  із урахуванням переміщення Сонця.

Для зразку був обраний день рівнодення 20.03.2019 з географічними координатами міста Дніпро (48.46, 35.04).

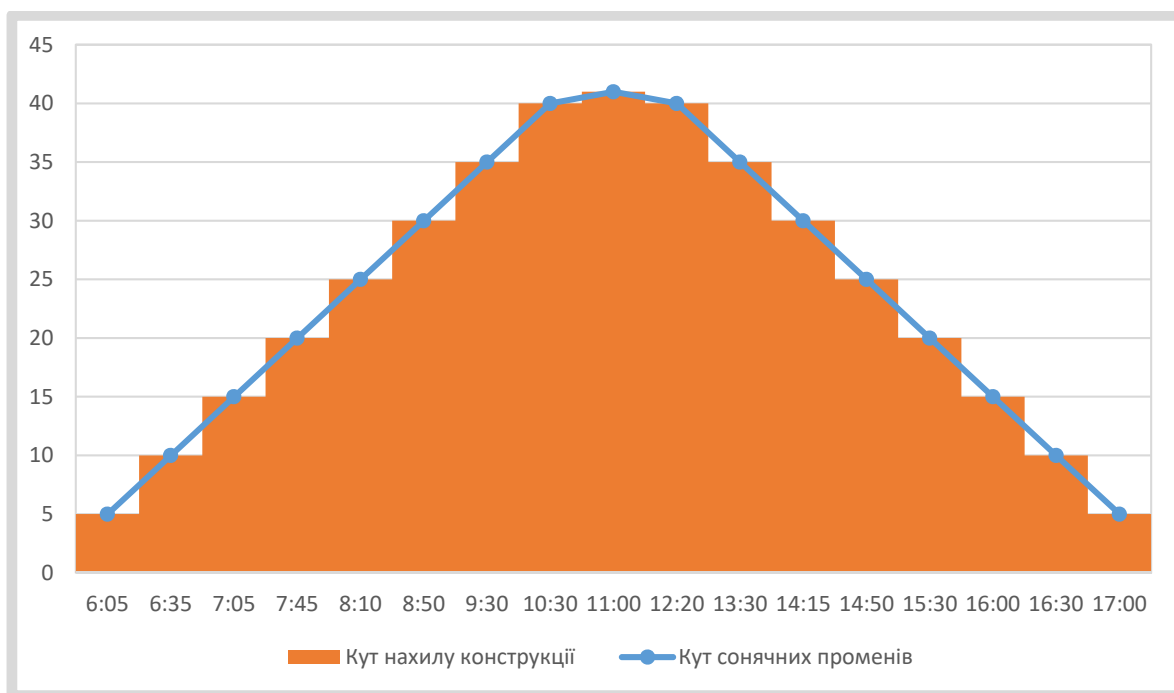


Рис.1.8 Графік залежності положення Сонця та металоконструкції від часу.

Для обраного технічного рішення будуть використані сонячні панелі китайського виробника Longi Solar LR6-72PE 365M та інвертор ZeverSolar Zeverlution Pro 30K .

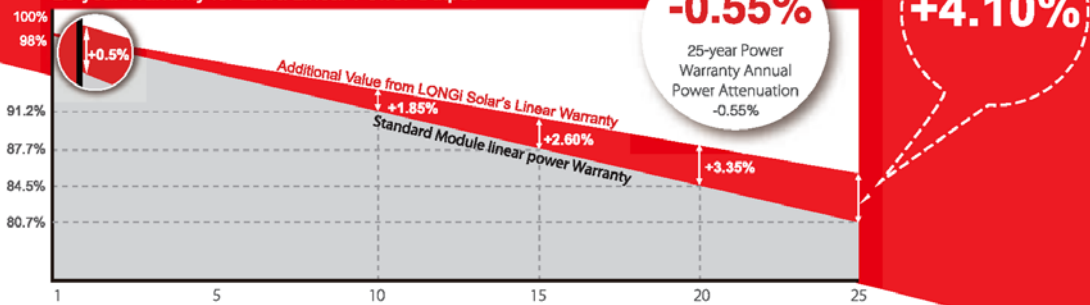
Експерименти показують, що збільшення річної генерації становить 18% - 40%. Споживана потужність системи залежить від кута похибки стеження, та становить близько 3% від генерованої потужності.



# LR6-72PE 360~380M

**Hi-MO1 High Efficiency  
Low LID Mono PERC Technology**

10-year Warranty for Materials and Processing;  
25-year Warranty for Extra Linear Power Output



#### Complete System and Product Certifications

IEC 61215, IEC61730, UL1703  
ISO 9001:2008: ISO Quality Management System  
ISO 14001: 2004: ISO Environment Management System  
TS62941: Guideline for module design qualification and type approval  
OHSAS 18001: 2007 Occupational Health and Safety



\* Specifications subject to technical changes and tests. LONGI Solar reserves the right of interpretation.

**Positive power tolerance (0 ~ +5W) guaranteed**

**High module conversion efficiency (up to 19.6%)**

**Slower power degradation** enabled by Low LID Mono PERC technology: first year <2%, 0.55% year 2-25

**Better energy yield** with excellent low irradiance performance and temperature coefficient

**Solid PID resistance** ensured by solar cell process optimization and careful module BOM selection

**Adaptable to harsh environment:** passed rigorous salt mist and ammonia tests

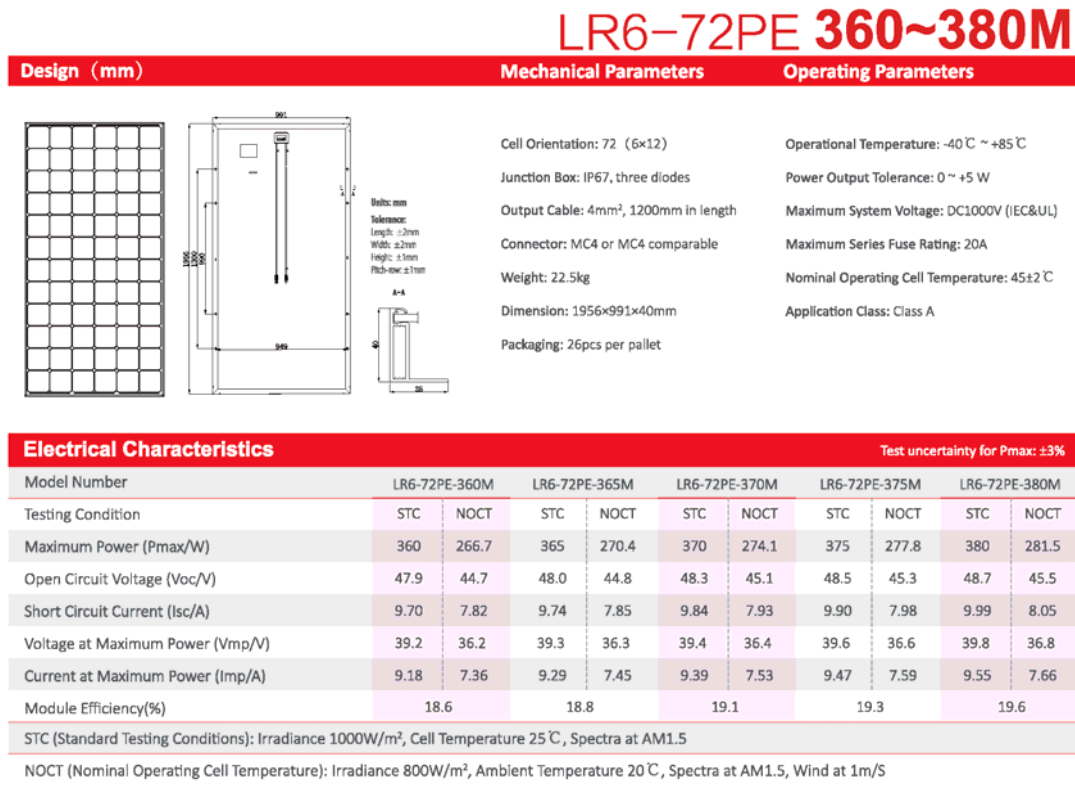
## LONGI Solar

Room 201, Building 8, Sandhill Plaza, Lane 2290, Zuchongzhi Road, Pudong District, Shanghai, 201203  
Tel: + 86-21-61047332 Fax: +86-21-61047377 E-mail: module@longi-silicon.com  
Facebook: www.facebook.com/LONGI Solar

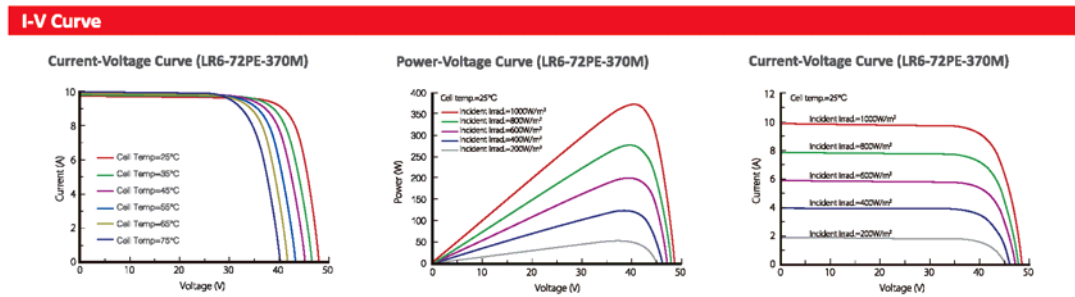
Note: Due to continuous technical innovation, R&D and improvement, technical data above mentioned may be of modification accordingly. LONGI Solar have the sole right to make such modification at anytime without further notice; Demanding party shall request for the latest datasheet for such as contract need, and make it a consisting and binding part of lawful documentation duly signed by both parties.

20180701

Рис. 1.9 Паспортні дані фотомодуля Longi Solar LR6-72PE 365M



Temperature Ratings ( STC )		Mechanical Loading	
Temperature Coefficient of Isc	+0.057%/°C	Front Side Maximum Static Loading	5400Pa
Temperature Coefficient of Voc	-0.286%/°C	Rear Side Maximum Static Loading	2400Pa
Temperature Coefficient of Pmax	-0.370%/°C	Hailstone Test	25mm Hailstone at the speed of 23m/s



# LONGI Solar

Room 201, Building 8, Sandhill Plaza, Lane 2290, Zuchongzhi Road, Pudong District, Shanghai, 201203  
 Tel: +86-21-61047332 Fax: +86-21-61047377 E-mail: module@longi-silicon.com  
 Facebook: www.facebook.com/LONGI Solar

Note: Due to continuous technical innovation, R&D and improvement, technical data above mentioned may be of modification accordingly. LONGI Solar have the sole right to make such modification at anytime without further notice; Demanding party shall request for the latest datasheet for such as contract need, and make it a consisting and binding part of lawful documentation duly signed by both parties.

20180701

Рис. 1.10 Паспортні дані фотомодуля Longi Solar LR6-72PE 365M

# Three-Phase String Inverter 33 kW

> Commercial, Industrial, Solar Inverter



## Zeverlution Pro 33K

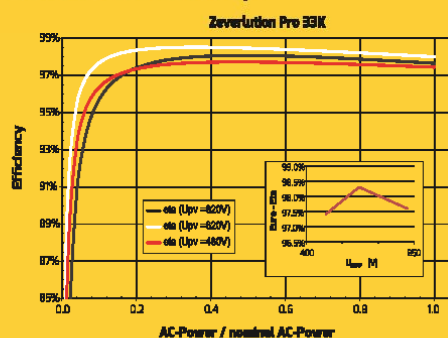
### Introduction

We believe that the world would be a better place if everybody had easy access to the cleanest energy. Now we are also revolutionizing access to solar power for multi-MW utility grade PV plants. You will benefit from highest efficiency, lowest start voltage, wide MPPT range and Modbus support. Because great plants are not made with powerful words alone, our Zeverlution Pro series.

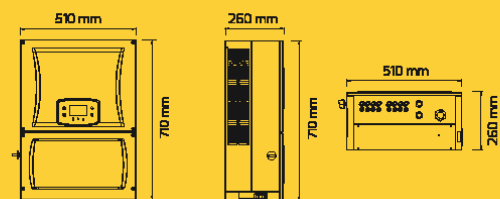
### Features

- Efficiency up to 98.5%
- Lightweight, only 58kg
- Compact IP65 casing ideal for PV plants
- Integrated DC and AC surge protection for highest safety
- RS485 and Modbus RTU communications
- Separate wiring compartment for convenient and reliable installation
- Complete grid and plant management functions via ZeverManager, ZeverCom or Modbus-compliant 3rd party management devices
- Easy handling for installation and maintenance

### Conversion efficiency



### Dimensions



SMA NEW ENERGY TECHNOLOGY (JIANG SU) CO., LTD.  
No.198 Xiangyang Road, Suzhou 215011, China • ☎ +86 512 6937 0998 • 📠 +86 512 6937 3159  
Sales: info@zeversolar.net

For contact information in your region please visit [www.zeversolar.com](http://www.zeversolar.com)

**zeversolar**

Рис. 1.11 Паспортні дані сонячного інвертора Zeversolar Zeverlution Pro 30K

# Three-Phase String Inverter 33 kW

Technical data	Zevelution Pro 33K
<b>Input (DC)</b>	
Maximum PV array power (STC)	49500 Wp
Maximum DC power at $\cos \varphi = 1$	33670W
Max. input voltage	1000V
MPP voltage range / rated input voltage	270-950V / 620V
Min. start voltage	250V
Min. feed-in power	25W
Max. input current per MPPT	34A / 34A
Max. input current per string	12A
Number of MPPTs	2
Number of independent MPP inputs	4 / 4
<b>Output (AC)</b>	
Rated active power	33000W
Max. apparent AC power	33000VA
Nominal AC voltage	3/N/PE, 220/380V, 230/400V
Nominal AC voltage range (line to line)	277-520V
AC power frequency / range	50,60 / $\pm 5$ Hz
Rated power frequency / rated grid voltage	50,60Hz / 230V
Max. output current	3 x 48A
Power factor (@rated power)	> 0.99
Adjustable displacement power factor	0.80 inductive ... 0.80 capacitive
Feed-in phases / connection phases	3 / 3
Harmonic distortion (THD) at rated output	< 3%
<b>Efficiency</b>	
Max. efficiency / European weighted efficiency	98.5% / 98.2%
MPPT efficiency	99.50%
<b>Protective devices</b>	
DC Isolator	o
PV Iso / Grid monitoring	• / •
DC reverse polarity protection / AC short-circuit current capability	• / •
GFCI function	•
Protection class (according to IEC 62103) / overvoltage category (according to IEC 60664-1)	I / II (DC), III (AC)
Surge protection DC (SPD Type II) / AC (MOV Type II)	• / •
<b>General data</b>	
Interfaces: RS485 / Ethernet / Wi-Fi	• / - / -
Earth Fault Alarm	ZevelCloud based
Display	graphical LCD
Dimensions (W x H x D)	510 x 710 x 260mm
Weight	58kg
Cooling concept	fan cooling
Noise emission (typical)	< 60 dB(A)@1m
Installation	Indoor & outdoor
Mounting information	wall mounting bracket
DC connection technology	SUNCLIX
AC connection technology	M40 cable gland + MG DT terminal
Operating temperature range	-25°C...+60°C / -13°F...+140°F
Relative humidity (non-condensing)	0% ... 100%
Max. operating altitude	2000m
Degree of protection (according to IEC 60529)	IP65
Climatic category (according to IEC 60721-3-4)	4K4H
Topology	transformerless
Self-consumption (night)	< 1W
Standby power	< 12W

• standard o optional - not available

As of January, 2018 / Technical data is subject to revisions.

Рис. 1.12 Паспортні дані сонячного інвертора Zeversolar Zevelution Pro 30K



## 2. Автоматизований електропривод

Відповідно розмірам сонячних батарей буде сконструйована металоконструкція. В Україні існує декілька великих компаній, котрі займаються виробництвом таких металоконструкцій. На даний момент одною із найкращих пропозицій за параметрами ціна-якість пропонує компанія «SOLAR steelconstruction». Від менеджера компанії було отримано комерційну пропозицію, у котрій вказано, що маса стола для 16 панелей без урахування маси опорних паль становить 215 кг. Маса опорних паль становить 88.2 кг.

Із урахуванням маси панелей маса конструкції, що буде обертатись, становить:

$$m = 26.5 * 16 + 215 = 639 \text{ (кг)};$$

Плече моменту становить 0,2 м.

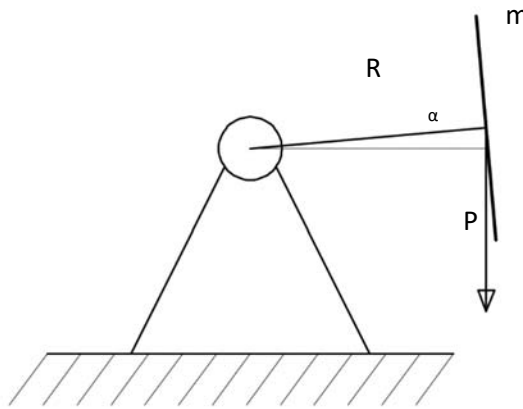


Рис.2.1 Кінематична схема конструкції.

А тому максимальний статичний момент на валу конструкції становить:

$$M_{ск} = R * \cos\alpha * P; \quad (2.1)$$

$$P = m * g; \quad (2.2)$$

$$M_{ск} = 0.2 * 0.9961 * 6266.4174;$$

$$M_{ск} = 1248.3951 \text{ (Н * м)}.$$

Момент інерції на валу конструкції становить:

$$J = \int r^2 dm; \quad (2.3)$$

$$J = 104 \text{ (кг * м}^2\text{)}.$$

Розрахунки залежності споживаної електричної енергії двигуна від частоти циклу роботи та обраного дискрета кута поворота показали, що оптимальним кутом є  $5^\circ$ .

Згідно з цією інформацією була скомпонована таблиця зміни кута Сонця відносно поверхні Землі у Дніпрі.

Із цієї таблиці було виявлено, що, найменший час, за який кут падіння сонячних променів змінюється на  $5^\circ$  становить 1800 секунд. Тобто час циклу роботи електродвигуна  $T_{ц} = 1800 \text{ с}$ .

$$\Delta\varphi = 5^\circ = 0.087266 \text{ (рад)} = \frac{1}{72} \text{ (об.)}.$$

Середня кутова швидкість руху конструкції розраховується наступним чином:

$$\omega_c = \frac{\Delta\varphi}{\Delta t} \text{ (рад/с)}. \quad (2.4)$$

Де  $\Delta t$  – час роботи двигуна.

Потужність на валу конструкції розраховується за формулою:

$$P_k = M_k * \omega_k \text{ (кВт)}. \quad (2.5)$$

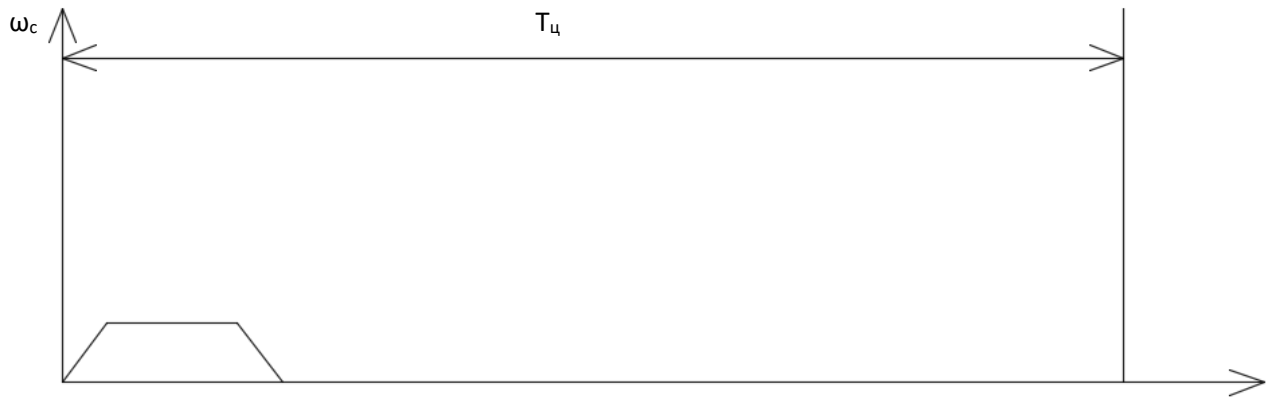


Рис 2.2. Характеристика залежності швидкості стола від часу циклу.

Для реалізації технічного рішення необхідні сервопривод Lexium 32, трифазний синхронний серводвигун ВМН, редуктор GBX, черв'ячна передача, Програмований Логічний Контролер (ПЛК) Zelio.

Реалізація механічного руху конструкції реалізується у наступному порядку.

Програмований Логічний Контролер Twido, базуючись на графіку переміщення Сонця, подає одиничний імпульс на сервопривод Lexium 32, котрий, в свою чергу формує сигнал завдання на переміщення на серводвигун. Даний сервопривод має функцію автоматичного розрахунку параметрів регулятора, що забезпечує максимальну точність та швидкість регулювання. Оскільки серводвигун має відносно велику номінальну швидкість та відносно малий момент необхідно використати редуктор лінійки GBX, котрий збільшить момент, що розвиватиме вал конструкції та зменшить його швидкість. Після цього ми використовуємо черв'ячну передачу, котра дає можливість змінити напрям моменту, його значення, а також черв'ячна передача виступає у ролі гальма, адже передача руху в черв'ячній передачі можлива лише в одному напрямку. Черв'ячна передача жорстко з'єднана із валом конструкції.

Далі будуть здійснені розрахунки параметрів системи для правильного і найоптимальнішого вибору елементів.

Потужність двигуна розраховується за формулою:

$$P_{дв} = \frac{K_3 * \sqrt{\frac{P_K^2 * t_{роб}}{T_{ц}}}}{\eta_ч * \eta_{ред}} \text{ (кВт)}. \quad (2.6)$$

Де  $K_3$  – коефіцієнт запасу на динаміку,  $\eta_ч$  та  $\eta_{ред}$  – ККД черв'ячної передачі та редуктору відповідно.

Статичний момент серводвигуна становить:

$$M_c = \frac{M_K}{i} \text{ (Н * м)}. \quad (2.7)$$

Де  $i$  сумарний передатний коефіцієнт редуктора та черв'ячної передачі.

$$i = \frac{\omega_{дв}}{\omega_c}. \quad (2.8)$$

Необхідно підібрати час роботи циклу та передатні коефіцієнти таким чином, щоб обрати серводвигун із лінійки Schneider Electric ВМН якомога меншої потужності, але втім, щоб цей серводвигун задовольнив усі розрахункові параметри.

Шляхом розрахунків та підбору було виявлено, що найоптимальнішим сумарним коефіцієнтом передачі є коефіцієнт 100:1. Цей сумарний коефіцієнт буде забезпечений планетарним редуктором GBX 160 із коефіцієнтом 40:1 та черв'ячною передачею із коефіцієнтом 60:1.

Також було виявлено, що мінімальний час руху із врахуванням обраних параметрів становить 8 с.

Тепер, маючи усі вхідні дані ми можемо розрахувати необхідні параметри та обрати конкретну модель серводвигуна та сервопривода.

Кутова швидкість повороту конструкції становить:

$$\omega_k = \frac{0,087266}{8} = 0,0109 \text{ (рад/с)}.$$

Потужність на валу конструкції:

$$P_k = 13,6178 * 0,0109 = 13,6178 \text{ (кВт)}.$$

Необхідна потужність двигуна:

$$P_{\text{дв}} = \frac{1,2 * \sqrt{\frac{185,4444 * 8}{1800}}}{0,75 * 0,965} = 1,5052 \text{ (кВт)}.$$

Необхідний статичний момент двигуна:

$$M_c = \frac{M_k}{i} \text{ (Н * м)} \quad (2.9)$$

$$M_c = \frac{1248,3951}{100} = 12,4839 \text{ (Н * м)}$$

Середня необхідна кутова швидкість двигуна:

$$\omega_d = 0,0109 * 100 = 1,0908 \text{ (рад/с)}$$

Динамічний момент двигуна:

$$M_d = \frac{J * \omega_d}{t/2} / i \text{ (Н * м)} \quad (2.10)$$

$$M_d = 0,2836 \text{ (Н * м)}$$

Максимальний необхідний момент двигуна:

$$M = M_c + M_d \text{ (Н * м)}$$

$$M = 12,7675 \text{ (Н * м)}$$

Розрахованим параметрам відповідає двигун ВМН 100 2Р, та відповідно до нього обраний сервопривод Lexium 32 D18N4.

Для перевірки двигуна за нагріванням використаємо формулу:

$$M_{\text{екв}} = \frac{\sqrt{\sum M_i^2 * t_i}}{T_{\text{ц}}} \quad (2.11)$$

$$M_{\text{екв}} = 0,0196 \text{ (Н * м)}.$$

Оскільки  $M_{\text{екв}} \leq M_{\text{ндв}}$ , то обраний двигун відповідає вимогам за нагрівом.

За такою умовою можливе обрання двигуна із меншою потужністю. У каталозі двигун, що має максимально близькі до обраного двигуна параметри не може забезпечити необхідний момент, а тому не може бути обраний.

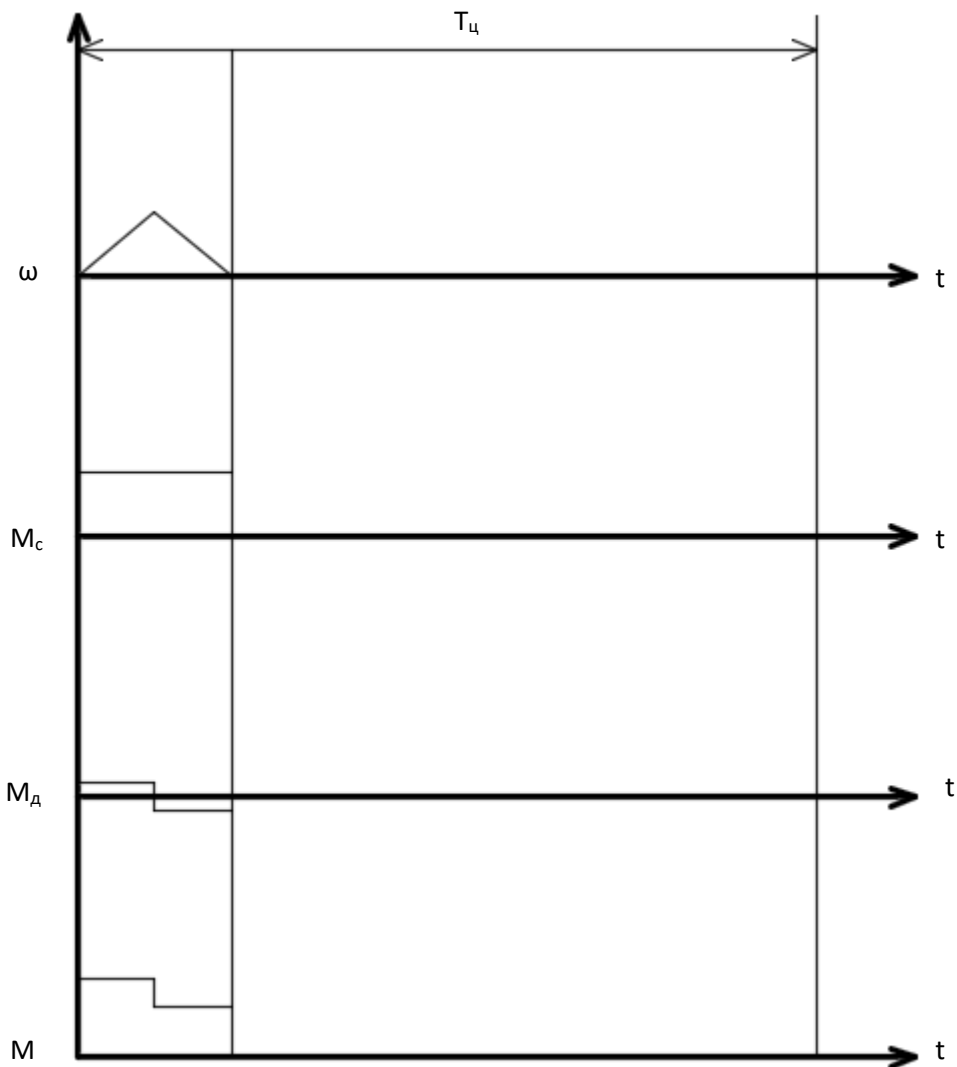


Рис. 2.3. Діаграми швидкості та моментів двигуна.

Сервопривод та серводвигун обраний із лінійки продукції Schneider Electric, тому що вони відповідають вимогам до трекінгової системи такі як точність позиціонування, надійність та відносна автономність системи, а також простота в управлінні та налагодженні. Усі серводвигуни відповідають міжнародним стандартам EN 61800-5-1 та EN 61800-3, сертифіковані за UL та CSA, відповідають вимогам директиви про захист навколишнього середовища (RoHS) та вимогам Європейських директив для отримання маркування СЕ.

Оскільки сервоперетворювач має ступінь захисту лише IP20, що призводить до необхідності використання захисного щита. Також у цьому щиті будуть розміщені ПЛК та система живлення із автоматичним вимикачем.



Рис. 2.4. Сервоперетворювачі Lexium 32С, 32А та 32М.

Експлуатаційні властивості Lexium 32:

- Перевантажувальна здатність: високий піковий струм (до  $\times 4$  тривалого струму) збільшує здатність до переміщення;
- Питома потужність: максимальна ефективність при невеликих розмірах;
- Висока продуктивність: висока стабілізація швидкості та більш швидкий розгін покращують якість керування;
- Керування серводвигуном: зниження вібрації, блок контролю швидкості та додатковий полосовий режекторний фільтр також покращують якість керування.

Універсальні характеристики сервоперетворювача Lexium 32 надають можливість для використання у системах керування із різноманітною архітектурою.

Сервоперетворювач має інтерфейс для передачі сигналів керування із різних рівнів системи в залежності від архітектури:

- Керуючий інтерфейс для керування послідовністю імпульсів
- Порт CANopen/CANmotion, що дозволяє покращити характеристики системи керування
- Може підключатись до основних комунікаційних шин та мереж, використовуючи різні комунікаційні карти.

Кarti стандартних протоколів зв'язку дозволяють інтегрувати Lexium 32 у більшість систем керування. А саме це протоколи DeviceNet, EtherNet/IP а також PROFIBUS DP V1.

У сервоперетворювачі Lexium 32 реалізована можливість використання у різних робочих режимах, що дозволяє використовувати його для різних промислових механізмів.

Для вирішення поставленої задачі буде використаний робочий режим позиціонування, а саме режим завдання переміщень.

Переміщення можна задавати двома способами:

- Аналоговими сигналами ( $\pm 10V$ );
- РТІ сигналами (сигнали імпульса/напрямку, сигнали A/B або CW/CCW)

Для спрощення системи керування буде використаний другий спосіб.

Параметри сервоприводу Lexium 32 будуть задані із використанням програмного забезпечення SoMove.

Програмне забезпечення SoMove використовується для конфігурації та оптимізації контурів керування, містить функцію осцилографування в автоматичному або ручному режимі, а також для зв'язку із сервоперетворювачами Lexium 32 та з усіма приводами компанії Schneider Electric.



Може використовуватись як при прямому підключенні, так і при приєднанні по Bluetooth.

Для повторення траєкторії руху, що була описана у попередньому розділі диплома буде використана наступна послідовність дій.

Необхідно визначити вихідне положення валу двигуна, що співпадає із мінімальним кутом нахилу конструкції в  $5^\circ$ . Визначивши положення, його треба прив'язати до механічної координати (мітка).

Використовуючи налаштування ручного режиму (JOG) конфігурувати режим ручного переміщення. Ручний режим працює через програмовані дискретні входи LI або через комунікаційні шини та мережі.

Для керування сервоперетворювачем будуть використані два дискретні входи, один із них відповідає за одиничне переміщення, а інший за напрям цього переміщення.

Відповідні імпульси керування будуть сформовані Програмованим Логічним Контролером Zelio із попереднім налаштуванням у програмному забезпеченні ZelioSoft 2. Ці імпульси керування повинні бути подані у відповідність із базою даних. Коли значення годиннику реального часу співпадає з одним із значень у базі даних, контролер подає імпульси керування на входи сервоперетворювача. Сервоперетворювач, в свою чергу обробляє сигнал та подає завдання на переміщення двигуна що призводить до зміни кута конструкції на  $5^\circ$ .



Рис. 2.5. Серводвигун ВМН.

Серводвигун ВМН 100 2Р – трифазний синхронний електродвигун із постійними магнітами. Він має можливість передачі даних від серводвигуна до сервоперетворювача автоматично, використовуючи вмонтований датчик положення ротора SinCos Hiperface.

Табл. 2.1. Параметри серводвигуна ВМН 100 2Р

Параметр	Значення	Розмірність
Номінальна потужність $P_{\text{ном}}$	1600	Вт
Номінальна кутова швидкість $\omega$	4000	Об/хв
Номінальний момент $M_{\text{ном}}$	3,9	Н*м
Тривалий момент із нулевою швидкістю $M_0$	6.2	Н*м
Піковий момент $M_{\text{max}}$	18.4	Н*м
Інерція ротора $J_p$	6.3	Кг*см <sup>2</sup>

Ступінь захисту оболонки IP можна обрати. Для даного двигуна можливі IP50 або IP65.

Напруга живлення двигуна трифазна 380 В.

Даний сервопривод комплектується планетарним редуктором із, необхідним для даного технічного рішення, коефіцієнтом 40:1 - GBX 160 (Рис. 2.5.1). Ці редуктори виготовляє фірма Neugart. Немає необхідності в змащуванні цих редукторів на протязі всього терміну їх служби. Спільна робота цих редукторів та сервоприводів глибоко вивчена, їх легко приєднати, а також виробниками гарантується проста та надійна експлуатація.



Рис. 2.5.1 Зображення планетарного редуктора GBX 160

Для формування завдання на сервоперетворювач обраний ПЛК компанії «Schneider Electric» Zelio.



Рис. 2.6. ПЛК Zelio компактного виконання.

Алгоритм роботи ПЛК був заданий у програмному забезпеченні ZelioSoft 2 за допомогою мови FBD. Були використані блоки реального часу TIME PROG, блок булевої алгебри OR а також таймери, що перериватимуть сигнал TIMER В/Н з роботою у режимі «Function H».

В два блока TIME PROG була введена база даних часу зміни кута Сонця. В один із них внесені дані першої частини світлового дня, коли конструкція зменшує кут нахилу відносно площі Землі (Рис.2.8), в інший дані, що відповідають зміні кута після проходження Сонця точки зеніту(Рис.2.9). На перший із входів подається сигнал на переміщення, параметри якого реалізовані у Lexium 32.

Другий вхід сервоперетворювача відповідає за напрям, у якому буде відпрацьоване завдання на переміщення. У першу половину світлового дня на вхід буде поданий логічний нуль, що означає позитивний напрям, тобто

напряму підйому конструкції. У другій половині світлового дня на вхід напряму сервоперетворювача буде подана логічна одиниця, що призведе до зміни напряму руху.

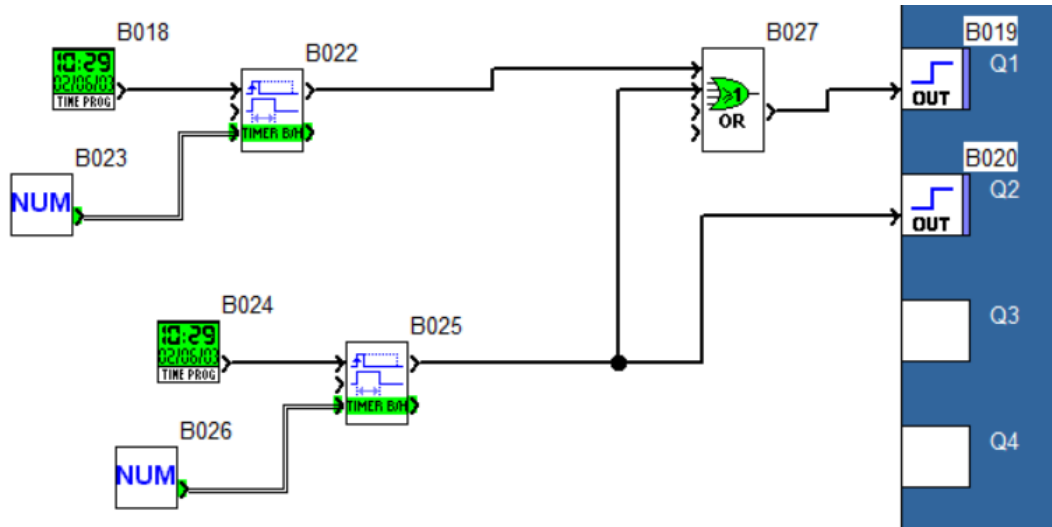


Рис. 2.7. Зображення програми Zelію мовою FBD.

TIME PROG (Daily, weekly and yearly programmer)

Comments Parameters Summary

Number	Change t	Daily	Day(s)	Week(s)
00	ON	06:20	20.03.2019	-
01	ON	06:50	20.03.2019	-
02	ON	07:20	20.03.2019	-
03	ON	07:55	20.03.2019	-
04	ON	08:30	20.03.2019	-
05	ON	09:05	20.03.2019	-
06	ON	09:50	20.03.2019	-
07	ON	10:50	20.03.2019	-
08	OFF	11:10	20.03.2019	-
09	OFF	12:30	20.03.2019	-
10	OFF	13:50	20.03.2019	-
11	OFF	14:30	20.03.2019	-
12	OFF	15:10	20.03.2019	-
13	OFF	16:15	20.03.2019	-
14	OFF	16:45	20.03.2019	-
15	OFF	17:20	20.03.2019	-

Clear Number

OK  
Cancel  
?

Рис. 2.8. Зміст першого блоку часу (B018).

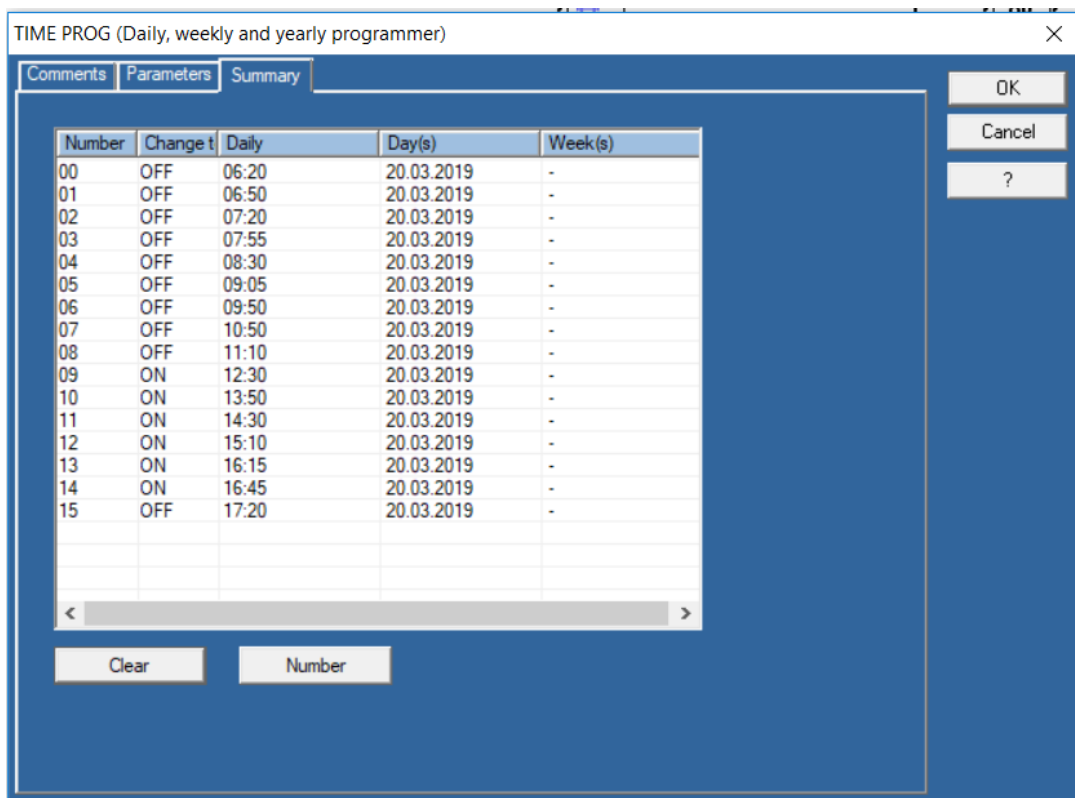


Рис. 2.9. Зміст другого блоку часу (B024).

Дана програма дає завдання на переміщення на протязі одного дня.

Для налаштування сервоперетворювача необхідно задати параметри двигуна, що буде використаний, обрати режим роботи та задати налаштування для одиничного переміщення. Усі ці параметри можна змінити та завантажити у сервоперетворювач за допомогою програмного забезпечення SoMove.

Вбудована у сервоперетворювач функція автоматичного налаштування параметрів дозволяє виконати автоматичне налаштування параметрів контурів регулювання (Рис.2.11). Можна обрати один з трьох режимів автоматичного налаштування:

- Автоматичний режим;
- Напіваавтоматичний режим;
- Експертний режим;

Для вирішення даної задачі немає необхідності у зміні стандартних параметрів регуляторів.

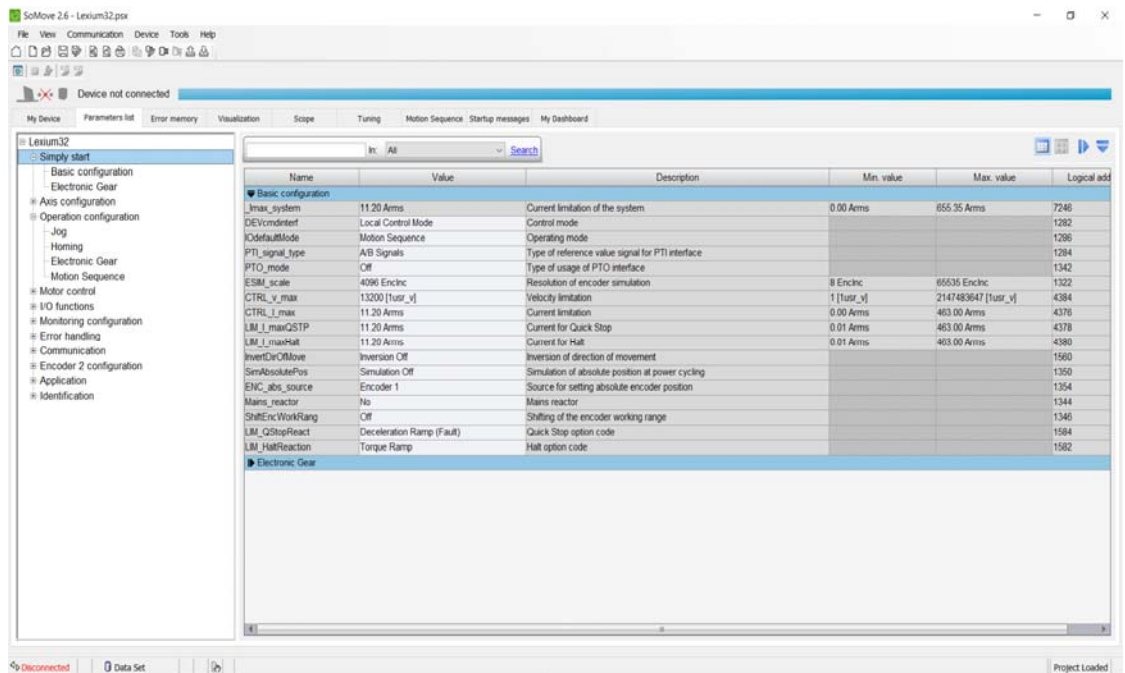


Рис. 2.10 Панель основних налаштувань SoMove.

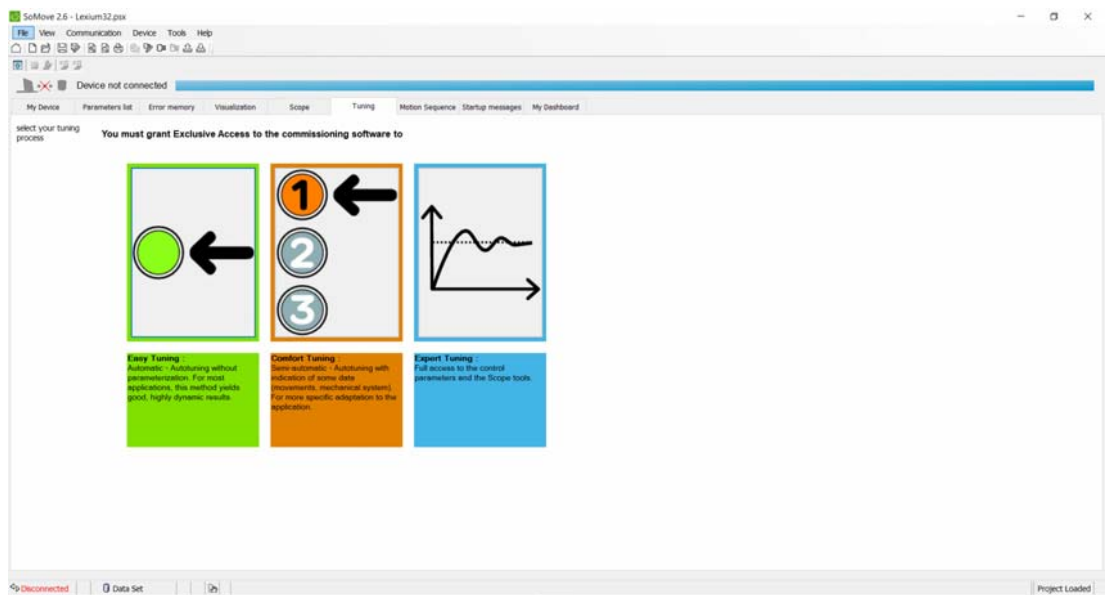


Рис.2.11 Панель зміни режимів автоматичного регулювання параметрів регулятора.

### 3 Динаміка електропривода

В даному розділі буде розглянута система векторного керування частотно регульованого синхронного електродвигуна.

У програмному забезпеченні Mathlab Simulink була розроблена модель керування синхронним електродвигуном із постійними магнітами (IPMSM).

Ця модель містить у собі блок завдання на керування швидкістю та моментом навантаження (Input). Цей блок дозволяє дати завдання на вхід системи керування у вигляді графіку відношення кутової швидкості від часу.

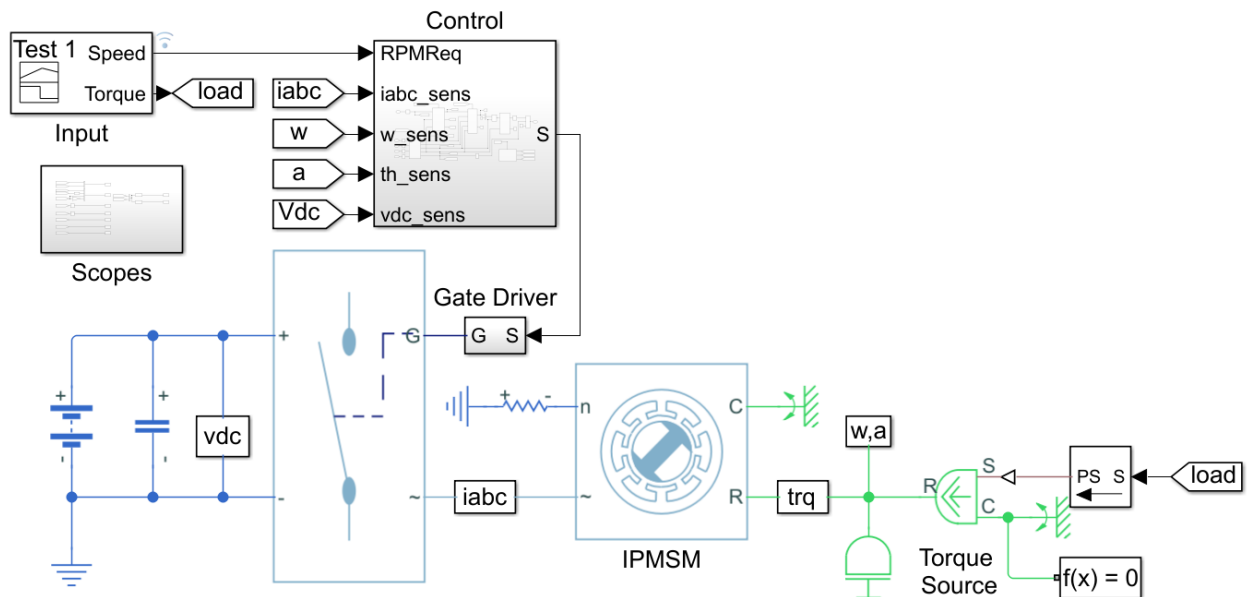


Рис. 3.1 Модель системи синхронного електропривода із постійними магнітами та інвертором на IGBT транзисторах.

Також на моделі присутні блоки, що моделюють роботу інвертору, на який приходять сигнали із системи керування. Безпосередньо інвертор формує трифазну синусоїдальну напругу із параметрами, необхідними для відпрацювання завдання.

Система керування зображена на рис. 3.2 має декілька основних блоків, таких як регулятор струму (Current Control), блок вимірювання величин (Measurements), блок зовнішнього кола регулятора (Outer Loop Control) та



блоки перетворення фізичних величин. Блоки регуляторів охоплені зворотними зв'язками.

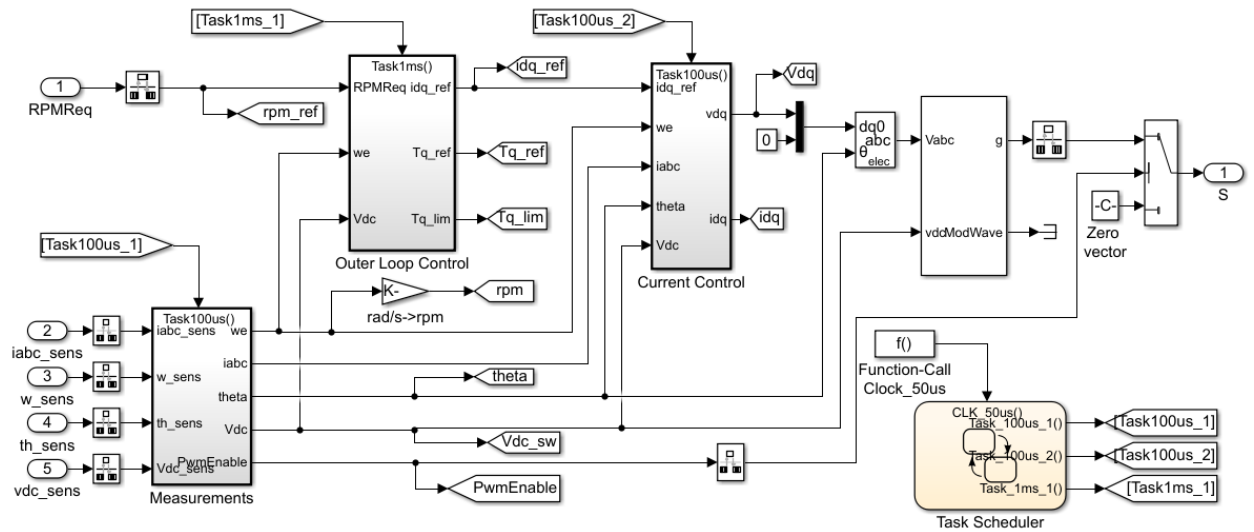


Рис. 3.2. Система керування синхронного електропривода.

Блок “Outer Loop Control” (Рис. 3.3)– це частина зовнішнього контуру моделі регулювання, що, в свою чергу містить два основних керуючих блоки, а саме блок регулювання швидкості “Velocity Controller” (Рис 3.4) та блок моделювання та управління моментом електропривода “PMSM Current Reference Generator” (Рис.3.6), що має на своєму виході значення струму, що необхідний для заданого моменту.

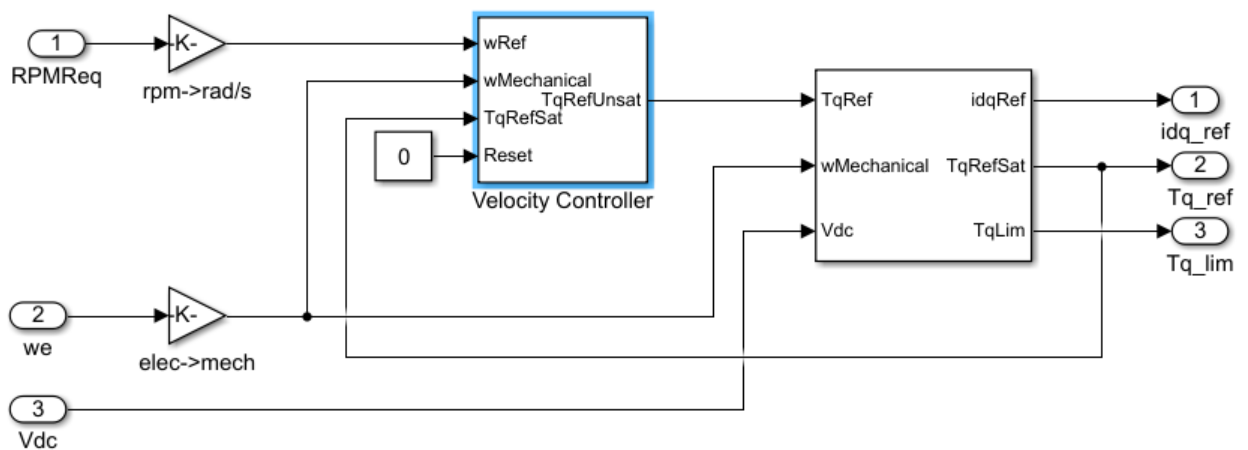


Рис. 3.3 Зовнішній контур регулювання.

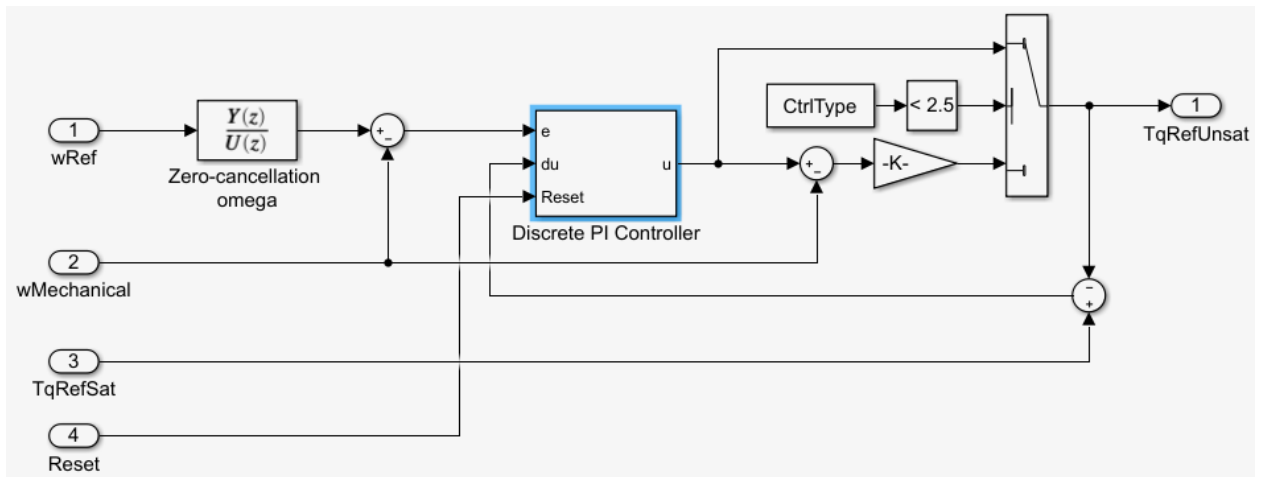


Рис 3.4 Регулятор швидкості із ПІ-регулятором.

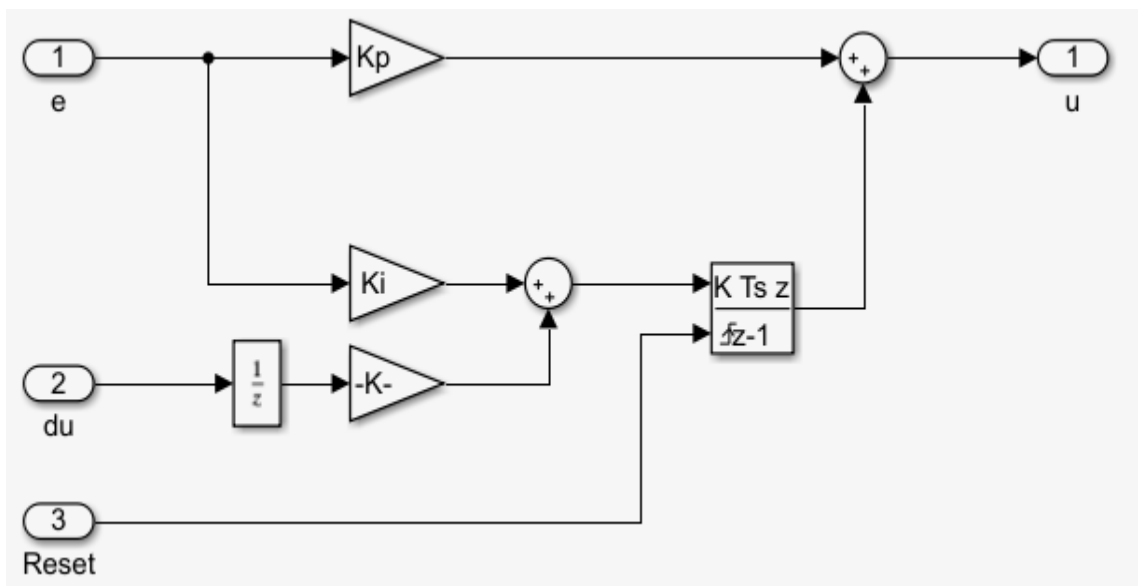


Рис. 3.5 ПІ-регулятор контуру регулювання швидкості.

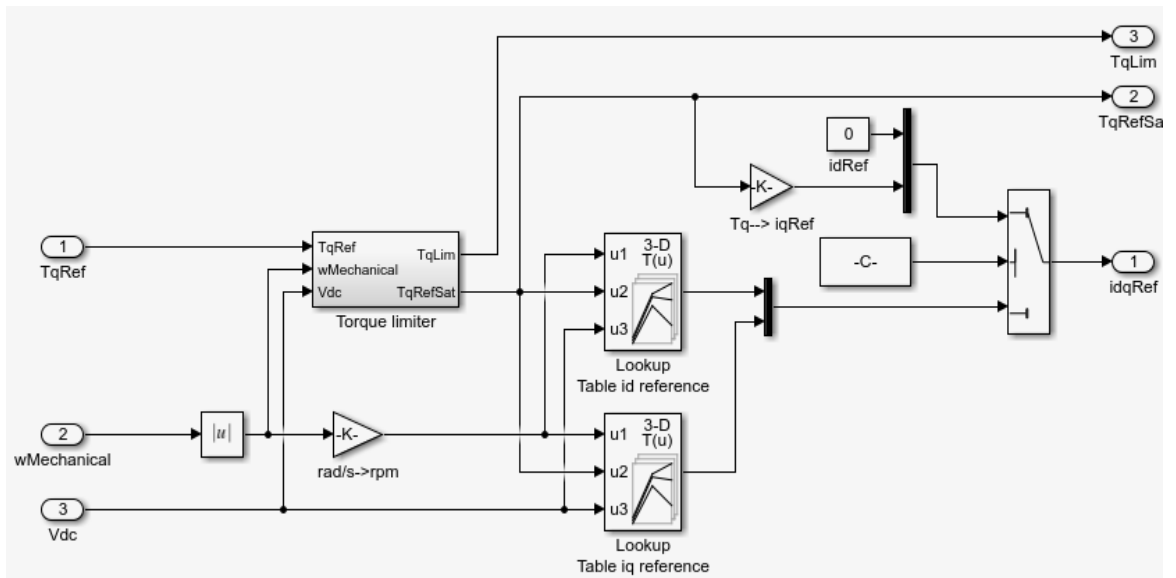


Рис. 3.6. Блок регулятору моменту.

Із зовнішнього кола регулювання (Рис. 3.3) значення струму надходить до регулятора струму, що зображений на Рис. 3.7. Останній сформує значення векторів керування за допомогою блока “PMSM Current Controller with Pre-Control”, що зображений на рис. 3.8.

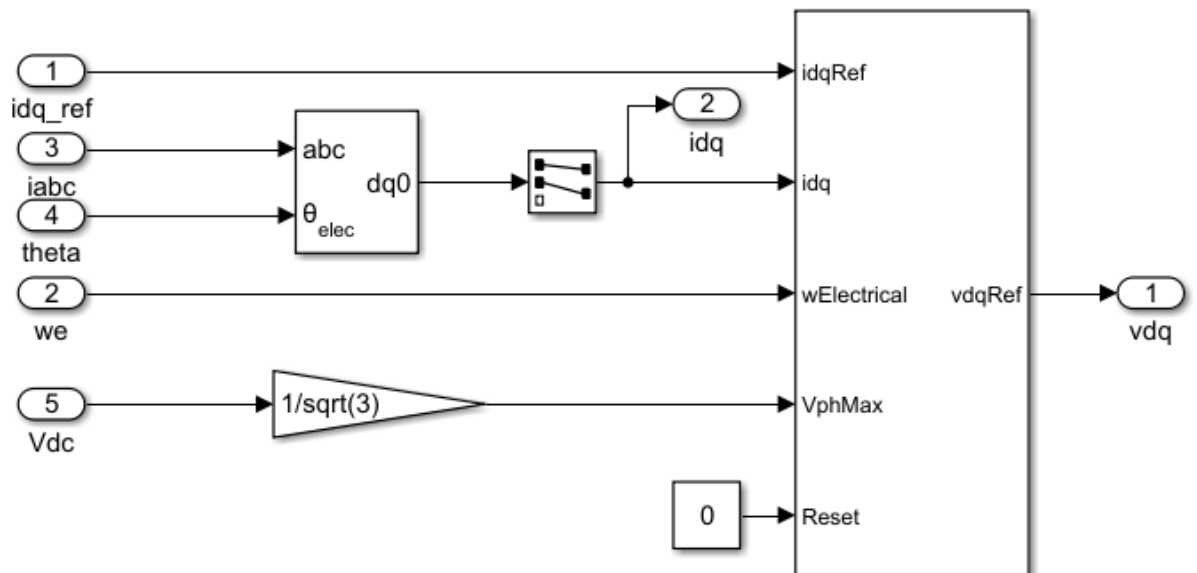


Рис. 3.7 Коло регулятора струму

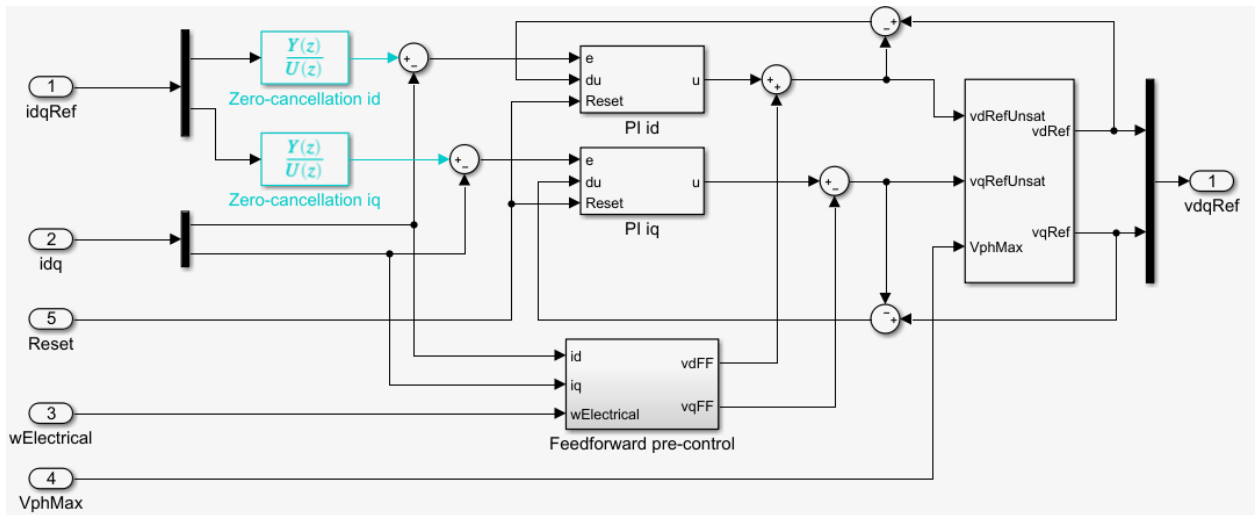


Рис. 3.8 Система формування векторів керування

Відповідно цим векторам система керування формує сигнал завдання на інвертор, що відпрацьовує завдання та живить електропривод безпосередньо.

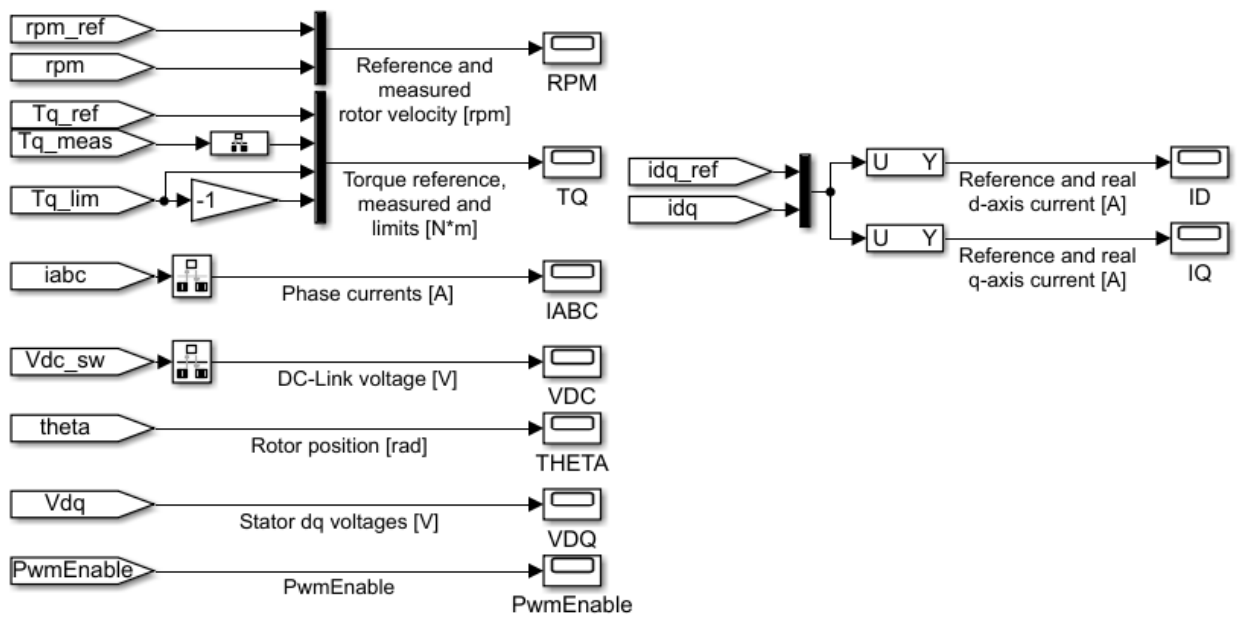


Рис. 3.9 Вихідні параметри системи керування

Для "зняття" характеристик системи керування був розроблений зручний вимірювальний блок, що містить більшість, необхідних для аналізу системи, параметрів. За допомогою блоків Score були зняті параметри електропривода, що зображені на рис. 3.10 та рис. 3.11

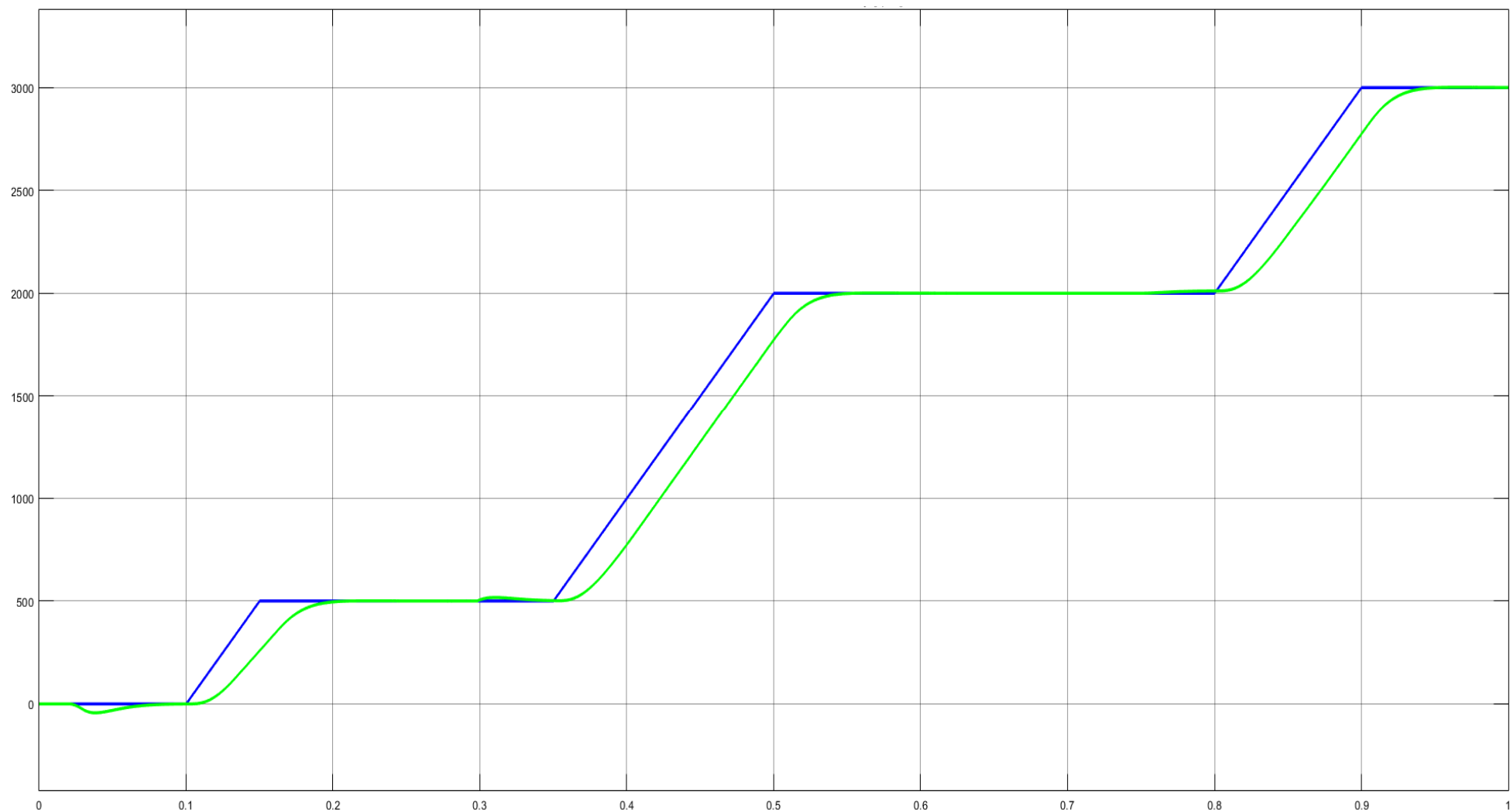


Рис. 3.10 Графік кутової швидкості двигуна,  
де ■ - дійсна швидкість та ■ - завдання на швидкість.

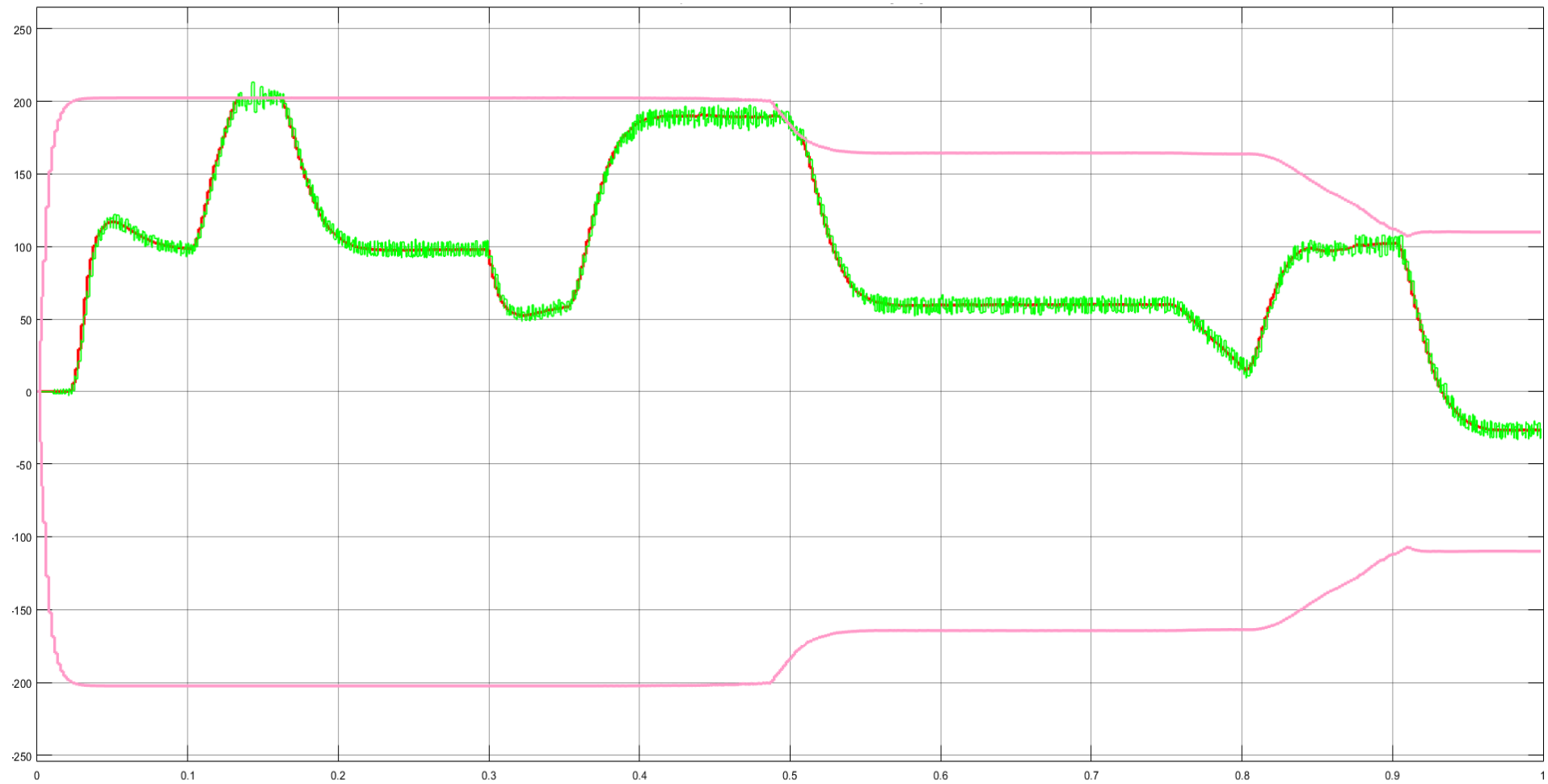


Рис. 3.11 Графік моменту електропривода,

де ■ - обмеження моменту, ■ - завдання на момент та ■ - дійсний момент.

## 4. Техніко-економічне обґрунтування

### Вступ

Була проведена велика кількість досліджень на тему ефективності та доцільності розвитку сонячної енергетики в Україні. За останні роки технології виробництва сонячних панелей та перетворювальної техніки значно розвинулися, що призвело до зменшення цін та значного збільшення ККД складових електростанцій. За вихідними даними, а саме за кількістю сонячного випромінювання, що потрапляє на поверхню землі, Україна випереджає навіть лідера в галузі сонячної енергетики - Німеччину.

Метою даного проекту є розробка найоптимальнішого технічного рішення для збільшення генерації сонячних електростанцій. А саме було спроектовано та розроблено комплексне рішення трекінгової одновісної системи. Дана система дозволяє зберігати оптимальний кут площі панелі відносно сонячних променів, що дозволяє підвищити об'єм генерованої потужності кожної панелі та електростанції в цілому.

В даному розділі проведено розрахунки періодів окупності двох типів фотогальванічних станцій, а саме статичної та з використанням трекерної системи. При розрахунку був використаний приклад станції, що має потужність у 30 кВт, адже саме ця потужність є максимальною в Україні для оформлення «зеленого» тарифу на фізичну особу.

Трекерна система складається з наступних складових:

- Конструкція;
- Серводвигун;
- Сервоперетворювач;
- Програмований Логічний Контролер;
- Система передачі механічного руху;

При застосуванні обраного технічного рішення прогнозується збільшення генерованої потужності та зменшення періоду окупності.

#### 4.1 Розрахунок капітальних витрат проектного варіанту

Проектні капіталовкладення в обладнання та монтаж-налагоджувальні роботи взяті на основі цін, які було встановлено при спілкуванні з менеджерами профільних фірм.

Розрахунки капітальних витрат наведені у (табл. 4.1.).

Таблиця 4.1 Зведення капітальних витрат проектного варіанту

№	Обладнання	Кількість	Ціна за одиницю, грн.	Сума, грн.
1.	Фотоелектричні модулі Longi Solar LR6-72PE-365M	108	6020,00	650160,00
2.	Сонячний інвертор Zeverlution Pro 30K	1	140670,00	140670,00
3.	Трекінгова система, комплект	1	11340,00	11340,00
4.	Металоконструкції, комплект	1	60000,00	60000,00
ВСЬОГО				862170,00

Капітальні витрати ( $K_{пр}$ ) на здійснення проектного варіанту складають:

$$K_{пр} = K_{об}(\sum_{i=1}^k Ц_i) + Z_{тзс} + Z_{м} + Z_{н} + Z_{д} + Z_{др}, \quad (4.1)$$

де

$K_{об}(Ц_i)$  – вартість придбання обладнання за проектом або сумарна вартість комплектуючих елементів і-го виду, необхідних для реалізації прийнятого технічного рішення;

$k$  – кількість необхідних комплектуючих елементів;

$Z_{тзс}$  – транспортно-заготівельні і складські витрати;

$Z_{м}$  – витрати на монтажні роботи;

$Z_{н}$  – витрати на налагоджувальні роботи;



Зд- витрати на демонтажні роботи;  
Здр – інші одноразові вкладення коштів.

Витрати на транспортні перевезення враховуються у ціні на обладнання.

Згідно з Галузевою угодою між Міністерством палива та енергетики України, і профспілкою працівників енергетичної та електромеханічної промисловості мінімальний розмір місячної тарифної ставки працівникам, які виконують некваліфіковану роботу (тобто 1-го розряду), встановлюється на рівні не менше 125% від законодавчо встановленої мінімальної заробітної плати, яка на 1 січня 2018 року становить 3200 грн.

Коефіцієнти визначаються згідно з додатками №3-37 до Галузевого договору співвідношень місячних тарифних ставок і посадових окладів до мінімальної місячної тарифної ставки працівника, який виконує некваліфіковану роботу.

$$Kт3 = 1,45 \text{ грн}; Kт4 = 1,62 \text{ грн}; Kт6 = 2,16 \text{ грн}.$$

Місячна тарифна ставка монтажника 1-го розряду:

$$Tсм1 = 3200 \cdot 125\% = 4000 \text{ грн};$$

Місячна тарифна ставка монтажника 3-го розряду:

$$Tсм3 = 4000 \cdot 1,45 = 5800 \text{ грн};$$

Годинна тарифна ставка наладчика 3-го розряду:

$$a_3 = 5800 / 160 = 36,25 \text{ грн/год};$$

Місячна тарифна ставка монтажника 4-го розряду::

$$Tсм4 = 4000 \cdot 1,62 = 6480 \text{ грн};$$

Годинна тарифна ставка монтажника 4-го розряду:

$$a_4 = 6480 / 160 = 40,5 \text{ грн/год};$$

Місячна тарифна ставка наладчика 6-го розряду:

$$T_{см6} = 3200 \cdot 2,16 = 6912 \text{ грн};$$

Годинна тарифна ставка наладчика 6-го розряду:

$$a_6 = 6912 / 160 = 43,2 \text{ грн/год.}$$

Монтажні і налагоджувальні роботи розраховуються наступним чином:

Монтажні роботи:

$$Z_m = \sum (Ч \cdot t \cdot a_4) \cdot K_c \cdot K_d \cdot K_{др}, \quad (4.2)$$

де

$Ч=2$  – кількість робочих, задіяних в монтажі, чол. ;

$t=16$  – час на здійснення монтажу, год. ;

$a_4=40,5$  – годинна тарифна ставка монтажника 4-го розряду, грн / год;

$K_c=1,22$  – коефіцієнт, що враховує відрахування на єдиний соціальний внесок;

$K_d=1,1$  – коефіцієнт, що враховує розмір доплат;

$K_{др}=1,05$  – коефіцієнт, що враховує непередбачені витрати.

$$Z_m = 2 \cdot 16 \cdot 40,5 \cdot 1,22 \cdot 1,1 \cdot 1,05 = 1827 \text{ грн.}$$

Налагоджувальні роботи

$$Z_n = \sum (Ч \cdot t \cdot a_6) \cdot K_c \cdot K_d \cdot K_{др}, \quad (4.3)$$

де

$Ч=2$  – кількість робочих, задіяних в налагодженні, чол. ;

$t=4$  – час на здійснення налагоджування, год. ;

$a_6=43,2$  – годинна тарифна ставка наладчика 6-го розряду, грн / год;

$K_c=1,22$  – коефіцієнт, що враховує відрахування на єдиний соціальний внесок;

$K_d=1,1$  – коефіцієнт, що враховує розмір доплат;

$K_{др}=1,05$  – коефіцієнт, що враховує непередбачені витрати.

$$Z_n = 2 \cdot 4 \cdot 43,2 \cdot 1,22 \cdot 1,1 \cdot 1,05 = 487 \text{ грн.}$$

Таким чином, проектні капітальні витрати складуть:

$$K_{пр} = K_{об} + Z_m + Z_n;$$

$$K_{пр} = 862170 + 1827 + 487 = 864484 \text{ грн.}$$

#### 4.1.1 Амортизаційні відрахування проектного варіанту

Річний фонд амортизаційних відрахувань визначається у відсотках від суми капітальних витрат за видами основних фондів і нематеріальних активів за розділами зведення капітальних витрат.

$$C_a = K_{пр} \cdot \frac{H_a}{100}, \quad (4.4)$$

де  $H_a$  – норма амортизації для змінного обладнання (група 4 основних засобів в Податковому Кодексі України станом на 01.01.2012) мінімальний термін використання 12 років.

Для розрахунку норм амортизації використовуємо прямолінійний метод. Норма амортизації для проектного варіанта становить:

$$H_a = \frac{1}{12} \cdot 100\% = 8,4\% \quad (4.5)$$

Річні відрахування на амортизацію становлять:

$$C_a = 864484 \cdot 0,084 = 72617 \text{ грн.}$$

Таблиця 4.2 Капітальні і амортизаційні витрати

Вид витрат	Вартість, грн
Капітальні витрати	864484
Відрахування на амортизацію	72617

#### 4.1.2 Річна економія проектного варіанту

Прибуток з продажу електроенергії обчислюється за формулою:

$$E_p^{np} = \Delta C_{e.e.} \cdot a_{зел} = (W_z - W_c) \cdot a_{зел}; \quad (4.6)$$

де

- $W_z = 48171,7$  кВт·ч /рік – генерація електроенергії за рік, загальна;

- $W_c = 1446$  кВт·ч /рік – кількість електроенергії, споживаємої трекінговою системою;

- $a_{зел} = 4,6188$  грн/кВт·ч – розмір ставки зеленого тарифу з ПДВ;

$$E_p^{np} = (48171,7 - 1446) \cdot 4,6188 = 215814 \text{ грн.}$$

Дані щодо річної генерації проектної станції отримані з результатів симуляції спеціалізованого програмного забезпечення для проектування сонячних електростанцій PVsyst 6.70.

Період окупності:

$$T_{ок} = \frac{K_{np}}{E_p^{np}} \quad (4.7)$$

$$T_{ок} = \frac{864484}{215814} = 4,1 \text{ років}$$

## 4.2 Розрахунок капітальних витрат статичного варіанту

Розрахунки капітальних витрат наведені у (табл. 4.3.).

Таблиця 4.3 Зведення капітальних витрат статичного варіанту

№	Обладнення	Кількість	Ціна за одиницю, грн.	Сума, грн.
1.	Фотоелектричні модулі Longi Solar LR6-72PE-365M	108	6020,00	650160,00
2.	Сонячний інвертор Zeverlution Pro 30K	1	140670,00	140670,00
3.	Металоконструкції, комплект	1	49000,00	49000,00
ВСЬОГО				839830,00

Капітальні витрати (Кб) на здійснення статичного варіанту складають:

$$Kб = Kоб(\sum_{i=1}^k Ці) + Зтзс + Зм + Зн + Зд + Здр, \quad (4.8)$$

де

$Kоб(Ці)$  – вартість придбання обладнання за проектом або сумарна вартість комплектуючих елементів і-го виду, необхідних для реалізації прийнятого технічного рішення;

$k$  – кількість необхідних комплектуючих елементів;

$Зтзс$  – транспортно-заготівельні і складські витрати;

$Зм$  – витрати на монтажні роботи;

$Зн$  – витрати на налагоджувальні роботи;

$Зд$  – витрати на демонтажні роботи;

$Здр$  – інші одноразові вкладення коштів.

Монтажні і налагоджувальні роботи розраховуються наступним чином:

Монтажні роботи:

$$Z_m = \sum (Ч \cdot t \cdot a_4) \cdot K_c \cdot K_d \cdot K_{др}, \quad (4.9)$$

де

$Ч=2$  – кількість робочих, задіяних в монтажі, чел .;

$t=13$  – час на здійснення монтажу, год .;

$a_4=40,5$  – годинна тарифна ставка монтажника 4-го розряду, грн / год;

$K_c=1,22$  – коефіцієнт, що враховує відрахування на єдиний соціальний внесок;

$K_d=1,1$  – коефіцієнт, що враховує розмір доплат;

$K_{др}=1,05$  – коефіцієнт, що враховує непередбачені витрати.

$$Z_m = 2 \cdot 13 \cdot 40,5 \cdot 1,22 \cdot 1,1 \cdot 1,05 = 1484 \text{ грн.}$$

Налагоджувальні роботи

$$Z_n = \sum (Ч \cdot t \cdot a_6) \cdot K_c \cdot K_d \cdot K_{др}, \quad (4.10)$$

де

$Ч=2$  – кількість робочих, задіяних в налагодженні, чел .;

$t=2$  – час на здійснення налагоджування, год .;

$a_4=40,5$  – годинна тарифна ставка монтажника 4-го розряду, грн / год;

$K_c=1,22$  – коефіцієнт, що враховує відрахування на єдиний соціальний внесок;

$K_d=1,1$  – коефіцієнт, що враховує розмір доплат;

$K_{др}=1,05$  – коефіцієнт, що враховує непередбачені витрати.

$$Зн = 2 \cdot 2 \cdot 40,5 \cdot 1,22 \cdot 1,1 \cdot 1,05 = 229 \text{ грн.}$$

Таким чином, базові капітальні витрати складатимуть:

$$Кб = Коб + Зм + Зн;$$

$$Кб = 839830 + 1484 + 229 = 841543 \text{ грн.}$$

#### 4.2.1 Амортизаційні відрахування статичного варіанту

Річний фонд амортизаційних відрахувань визначається у відсотках від суми капітальних витрат за видами основних фондів і нематеріальних активів за розділами зведення капітальних витрат.

$$C_a = Кб \cdot \frac{H_a}{100}, \quad (4.11)$$

де  $H_a$  – норма амортизації для змінного обладнання (група 4 основних засобів в Податковому Кодексі України станом на 01.01.2012) мінімальний термін використання 12 років.

Для розрахунку норм амортизації використовуємо прямолінійний метод. Норма амортизації для проектного варіанта становить:

$$H_a = \frac{1}{12} \cdot 100\% = 8,4\% \quad (4.12)$$

Річні відрахування на амортизацію становлять:

$$Ca = 841543 \cdot 0,084 = 69849 \text{ грн.}$$

Таблиця 4.4 Капітальні і амортизаційні витрати

Вид витрат	Вартість, грн
Капітальні витрати	841543
Відрахування на амортизацію	69849

#### 4.2.2 Річна економія статичного варіанту

Прибуток з продажу електроенергії обчислюється за формулою:

$$E_p^{\delta} = W \cdot a_{зел}; \quad (4.13)$$

де

-W = 41106 кВт·ч /рік – генерація електроенергії за рік;

-азел= 4,6188 грн/ кВт·ч – розмір ставки зеленого тарифу з ПДВ;

$$E_p^{\delta} = 41106 \cdot 4,6188 = 158127 \text{ грн.}$$

Дані річної генерації проектної станції отримані з результатів симуляції спеціалізованого програмного забезпечення для проектування сонячних електростанцій PVsyst 6.70.

Період окупності:

$$T_{ок} = \frac{K_{ст}}{E_p^n} \quad (4.14)$$

$$T_{ок} = \frac{841543}{158127} = 5,4 \text{ років}$$



## Висновок

Отже, розрахунок термінів окупності показав, що трекерна сонячна станція має менший термін окупності, внаслідок чого була доведена економічна доцільність обраного технічного рішення.

Варіант проекту	Термін окупності, років
Статична станція	5,4
Трекерна станція	4,1

## Висновок

Метою даної роботи була розробка технічного рішення трекерної системи для фотогальванічних електростанцій.

В першому розділі були описані типи трекерів для сонячних електростанцій, а також проведений порівняльний аналіз різних технічних рішень для систем стеження. Були описані основні фактори при виборі типу трекера та опираючись на цих факторах була обрана трекінгова система. Також були описані вимоги до системи стеження та електропривода.

В другому розділі були проведені розрахунки параметрів двигуна та механічної системи. Був обраний серводвигун, сервоперетворювач, механічна система, ПЛК. Були описані параметри кожного із компонентів системи. Також була описана система керування та сформована програма на ПЛК, у програмному забезпеченні ZelioSoft 2, що керує зміною положення конструкції на протязі світлового дня.

У третьому розділі була смодельована система частотного керування синхронного двигуна із постійними магнітами у програмному забезпеченні Matlab Simulink. Були описані компоненти моделі та їх взаємодія, а також були змодельовані графіки швидкості та моменту.

В четвертому розділі були розраховані економічні показники проектованої системи та показники звичайної статичної електростанції. На основі даних розрахунків генерації в програмному забезпеченні PVSyst була виявлена економічна доцільність обраного технічного рішення.