

Міністерство освіти і науки України
Національний технічний університет
"Дніпровська політехніка"

Електротехнічний
(факультет)

Кафедра Електропривода
(повна назва)

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА
дипломного проекту (роботи)

бакалавр
(назва освітньо-кваліфікаційного рівня)

галузь знань 0507 електротехніка та електромеханіка
(шифр і назва галузі знань)

напрямок підготовки 6.05070204 «Електромеханіка»
(код і назва напряму підготовки)

освітній рівень бакалавр
(назва освітнього рівня)

кваліфікація фахівець у галузі електромеханіки
(код і назва кваліфікації)

на тему Електромеханічна система орієнтування сонячних панелей великого розміру у складі сонячної дахової електростанції

Виконавець:

студент 4 курсу, групи ЕМ-14-1

_____ Рудь Є.Д.
(підпис) (прізвище та ініціали)

Керівники	Прізвище, ініціали	Оцінка	Підпис
проекту	<i>Азюковський О.О.</i>		
розділів			
<i>Спеціальна частина</i>	<i>Азюковський О.О.</i>		
<i>Охорона праці</i>	<i>Голінько В.І.</i>		
<i>Економіка</i>	<i>Тимошенко Л.В.</i>		
Рецензент			
Нормоконтроль	<i>Казачковський М.М.</i>		

Дніпро
2018

Міністерство освіти і науки України
Національний технічний університет
"Дніпровська політехніка"

ЗАТВЕРДЖЕНО:

Завідувач кафедри

електроприводу

(повна назва)

_____ Казачковський М.М.

(підпис)

(прізвище, ініціали)

« 29 » _____ 01 _____ 2018 року

ЗАВДАННЯ

на дипломний проект

бакалавр

(назва освітньо-кваліфікаційного рівня)

студенту ЕМ-14-1 Рудь Є.Д.

(група)

(прізвище та ініціали)

Тема дипломного проекту Електромеханічна система орієнтування сонячних панелей великого розміру у складі сонячної дахової електростанції

затверджена наказом ректора ДВНЗ "НГУ" від 07.05.2018 № 568-л

Розділ	Зміст	Термін виконання
Спеціальний	Розрахунок та вибір електротехнічного обладнання конвеєра, дослідження динаміки електроприводу.	29.01 – 27.05
Охорона праці	Аналіз шкідливих і небезпечних факторів та заходи щодо їх усунення	28.05 – 3.06
Економічний	Розрахунок основних техніко-економічних показників впровадження дипломного проекту.	4.06 – 10.06

Завдання видав

_____ (підпис)

Азюковський О.О.

(прізвище, ініціали)

Завдання прийняв до виконання

_____ (підпис)

Рудь Є.Д.

(прізвище, ініціали)

Дата видачі завдання: 29.01.2018

Термін подання дипломного проекту до ДЕК 22.06.2018

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка: 60 стор., __ таблиць, __ рисунків, 12 джерел.

Мета проекту: розрахунок електромеханічної системи орієнтування сонячних панелей.

В першій частині проекту наведено опис облаштування сонячних електростанцій, особливості їх експлуатації.

В розділі 2 “Автоматизований електропривод” виконано розрахунок потужності електродвигуна, розрахунок системи регулювання положення асинхронного двигуна з перетворювачем частоти. Вибрано перетворювач частоти.

В розділі 3 методом математичного моделювання досліджено динаміку запропонованої системи електропривода.

В розділі “Охорона праці” проведено аналіз шкідливих факторів і розроблено інженерно-технічні заходи для захисту обслуговуючого персоналу.

В розділі “Техніко-економічне обґрунтування” розраховані капітальні та експлуатаційні витрати на впровадження запропонованої системи електропривода.

СОНЯЧНІ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЇ, ЕЛЕКТРОПРИВОД ЗМІННОГО СТРУМУ, СИСТЕМИ ОРІЄНТАЦІЇ , МОДЕЛЮВАННЯ.

Підп. і дата	
Інв. № дубл.	
Зам. Інв. №	
Підп. і дата	
Інв. № подл.	

ЕП.ПД.18.14.ПЗ				
Зм.	Арк..	№ докум.	Підп.	Дата
Розроб.				
Пров.				
Н. контр.				
Затв.				
Електромеханічна система орієнтування сонячних панелей великого розміру у складі сонячної дахової електростанції				
		Лит.	Аркуш	Аркушів
			3	65
ЕТФ ЕМ-14-1				

ABSTRACT

Explanation message: 60 pages, ___ tables, ___ pictures, 12 sources.

The first part of the project describes the installation of solar power plants, especially their operation.

In section 2 "Automated electric drive" the calculation of power of the electric motor, calculation of the system of regulation of the position of the asynchronous motor with a frequency converter is performed. Frequency converter selected.

In section 3 the method of mathematical modeling is used to study the dynamics of the proposed electric drive system.

In the section "Labor protection" the analysis of harmful factors was carried out and engineering and technical measures were developed for the protection of the personnel.

In the section "Feasibility study" capital and operating costs for the implementation of the proposed electric drive system are calculated.

SOLAR POWER PLANTS, ALTERNATIVE CURRENT DRIVE,
ORIENTATION SYSTEMS, MODELING.

Підп. і дата	
Інв. № дубл.	
Зам. Інв. №	
Підп. і дата	
Інв. № подл.	

Зм.	Арк..	№ докум.	Підп.	Дата

ЕП.ПД.18.14.ПЗ

Арк

4

ЗМІСТ

Вступ.....	7
1 ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА	8
1.1. Сонячні електростанції. Особливості розташування при виробництві електроенергії.....	8
1.2 Визначення координат сонця. Системи орієнтації.....	10
1.3 Система орієнтування сонячних панелей. Завдання на проектування та технічні вимоги	14
2 АВТОМАТИЗОВАНИЙ ЕЛЕКТРОПРИВОД.....	16
2.1 Розрахунок навантажень та вибір двигуна.....	16
2.2 Модель асинхронного короткозамкненого двигуна в системі координат, орієнтованій за вектором потокозчеплення ротора.....	24
2.3 Синтез системи регулювання швидкості асинхронного двигуна.....	27
2.3.1 Синтез регулятора струму	31
2.3.2 Синтез регулятора потокозчеплення ротора	32
2.3.3. Синтез регулятора швидкості	34
2.3.4. Синтез регулятора положення.....	35
2.3.5 Вибір комплектного перетворювача частоти	37
3 ДОСЛІДЖЕННЯ ДИНАМІКИ ЕЛЕКТРОПРИВОДА.....	39
4 ОХОРОНА ПРАЦІ.....	46
4.1 Аналіз шкідливих виробничих факторів	46
4.2 Інженерно-технічні заходи з охорони праці.....	46
4.3 Розрахунок захисного заземлення.....	48
4.4 Пожежна профілактика	50
4.5 Безпека у надзвичайних ситуаціях.....	52
5 ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ.....	52
5.1 Розрахунок капітальних витрат	52
5.2 Розрахунок експлуатаційних витрат.....	54
5.2.1 Розрахунок амортизаційних відрахувань	55
5.2.2 Розрахунок вартості спожитої електроенергії.....	56

Підп. і дата	
Інв. № дубл.	
Зам. Інв. №	
Підп. і дата	
Інв. № подл.	

					ЕП.ПД.18.14.ПЗ	Арк
Зм.	Арк..	№ докум.	Підп.	Дата		5

5.2.3 Витрати на технічне обслуговування и поточний ремонт	57
ВИСНОВКИ.....	59
СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ.....	60

Інв. № подл.	Підп. і дата	Зам. Інв. №	Інв. № дубл.	Підп. і дата

Зм.	Арк..	№ докум.	Підп.	Дата

ЕП.ПД.18.14.ПЗ

ВСТУП

Сонячна енергетика є галуззю, яка розвивається дуже швидкими темпами. Сонячні електростанції використовуються не тільки в промислових масштабах з потужностями від 1 до 100 МВт, але і вчасному секторі та побуті с потужностями від декількох сотень ват до одиниць та десятків кіловат. Цьому сприяє так званий «зелений тариф», зростання цін на електроенергію та все більша доступність і розповсюдженість сонячних панелей.

Ефективність роботи панелей залежить не тільки від виробника та вихідного матеріалу, але і від умов експлуатації, забезпеченості необхідних умов взаємодії панелі та сонця. Одним із напрямків є використання так званих МРРТ контролерів. Задача цього пристрою знайти оптимальну робочу точку сонячної панелі в якій при діючих зовнішніх умовах виробляється максимальна потужність. Інший шлях це забезпечення орієнтації панелі під прямим кутом на сонце.

Метою роботи є розробка електромеханічної системи орієнтації сонячних панелей у складі дахової електростанції з метою підвищення виробництва електроенергії.

Інв. № подл.	Підп. і дата	Зам. Інв. №	Інв. № дубл.	Підп. і дата

					ЕП.ПД.18.14.ПЗ	Арк
Зм.	Арк..	№ докум.	Підп.	Дата		7

1 ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА

1.1 Сонячні електростанції.

Особливості розташування при виробництві електроенергії.

При виборі оптимальної орієнтації сонячних панелей слід звернути увагу на практичне використання сонячних установок різних типів. Кут попадання сонячних променів на поверхню панелей досить сильно впливає на коефіцієнт відображення, отже, на частку неприйнятої сонячної енергії. Приклад: для скла при відхиленні кута падіння від перпендикуляра до його поверхні до 30° , коефіцієнт відображення майже не змінюється і становить менше 5%, тобто більше 95% випромінювання, яке потрапляє на поверхню, проходить всередину. Далі зростання відображення більш помітний: до 60° частка відбитого випромінювання збільшується практично вдвічі - до 10% і т.д.

Ефективна площа панелі є більш важливим фактором. Ефективна площа дорівнює реальній площі панелі, помножена на синус кута між площиною і напрямком потоку. Тому, якщо панель перпендикулярна потоку, то її ефективна площа така ж, як і реальна. Якщо потік відхилити на 60° , то площа становить половину реальної площі. Якщо ж потік паралельний панелі, то ефективна площа прирівнюється нулю. В результаті видно, що відхилення потоку від перпендикуляра до панелі не просто збільшує відображення, але і може знижувати ефективну площу, обумовлюючи зниження вироблення такої енергії.

Найбільш ефективною є постійна орієнтація панелі перпендикулярно до потоку сонячних променів. Для цього буде потрібно зміна панелі в двох площинах, тому що напрямок Сонця залежить від часу доби і сезону.

Як відомо, при кутах падіння променів до 30° , коефіцієнт відображення на поверхні скла мінімальний і не змінюється, в протязом усього року кут максимального підйому сонця над горизонтом відхиляється на 23° . Навіть при відхиленні кута від перпендикуляра на 23° ефективна площа панелі залишається

Підп. і дата	
Інв. № дубл.	
Зам. Інв. №	
Підп. і дата	
Інв. № подл.	

					ЕП.ПД.18.14.ПЗ	Арк
Зм.	Арк..	№ докум.	Підп.	Дата		8

досить об'ємною, не менш 92% від її реальної площі. Тому слід орієнтуватися на середньорічну висоту максимального підйому Сонця, а також обмежитися обертанням в одній площині без втрати ефективності - навколо полярної осі Землі, швидкістю 1 оборот в добу. Щодо горизонталі кут нахилу обертання панелі прирівнюється до географічній широті місця розташування об'єкта. Організувати на практиці таке обертання досить просто, але для обертання без перешкод необхідно досить багато місця. Також потрібно організувати ковзне з'єднання, яке дозволить відводити від обертає панелі всю отриману енергію, або ж обмежитися гнучкими комунікаціями з фіксованим з'єднанням, але при цьому необхідно автоматизувати повернення панелі на вихідне положення в нічний час. Інакше уникнути перекручування і обриву відвідних комунікацій енергію не вийде. Такі рішення досить підвищують рівень складності і знижують надійність і ефективність системи. А при зростанні потужності панелі ускладнюються технічні проблеми в геометричній прогресії.

Виходячи з вищесказаного, панелі індивідуальних сонячних установок в основному монтуються в нерухомому стані, це забезпечить покупцеві досить низьку ціну і високий рівень надійності такої установки. Але і тут необхідно правильно вибрати кут нахилу і розміщення панелі.

Якщо згідно з архітектурним міркувань неможливо виставити панель під таким кутом, значить, доведеться вибирати між кутом нахилу не більше ніж 40° або встановлювати панель вертикально. У такій ситуації більш кращою є вертикальна установка панелі. При такій установці не страшний недобір енергії в довгі сонячні дні, оскільки в цей період Сонця досить багато, а необхідність продуктивності енергії зазвичай не дуже велика, як в холодну пору року. Звичайно ж кут нахилу панелі необхідно орієнтувати на південь, але навіть невелике відхилення в 10-15 ° на схід чи захід практично нічого не змінить, тому невелике відхилення допустимо.

Підп. і дата	
Інв. № дубл.	
Зам. Інв. №	
Підп. і дата	
Інв. № подл.	

					ЕП.ПД.18.14.ПЗ	Арк
Зм.	Арк..	№ докум.	Підп.	Дата		9

1.2 Визначення координат сонця. Системи орієнтації

Через обертання Землі, кут освітлення об'єктів сонцем постійно змінюється. Це означає, що якщо ми встановлюємо сонячні фотоелектричні панель нерухомо, то ми будемо не в повній мірі використовувати сонячне світло. Для того, щоб підвищити ефективність сонячної електростанції, ми повинні гарантувати постійне освітлення сонячних панелей прямими сонячними променями. Для цього і необхідний сонячний трекер. За допомогою цієї системи стеження ефективність вироблення потужності сонячних фотоелектричних модулів може бути підвищена на 30-60%.

Принцип роботи пристрою заснований на обчисленні розташування сонця і підстроювання азимутального і зенітного кута повороту робочої поверхні для орієнтації на сонце. Вихідними даними для обчислень є точні географічні координати розміщення трекера, а також поточні дата і час. Для визначення координат і дати / часу контролер оснащений GPS приймачем. Для орієнтації сонячних панелей за сонцем необхідно знати координати сонця: кут над горизонтом та азимут (рис. 1.1).

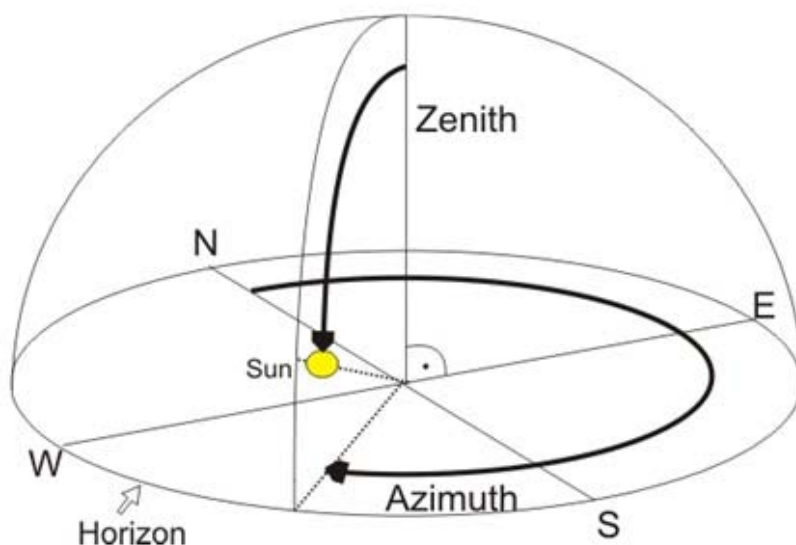


Рисунок 1.1 — Визначення координат сонця

Підп. і дата	
Інв. № дубл.	
Зам. Інв. №	
Підп. і дата	
Інв. № подл.	

Зм.	Арк..	№ докум.	Підп.	Дата
-----	-------	----------	-------	------

ЕП.ПД.18.14.ПЗ

Арк

10

Інший спосіб, це складання у пам'яті керуючого контролера таблиці в якій вказано дві координати розташування сонця в залежності від дати та часу. Або замість координат сонця можна відразу вказати кути нахилу панелі відносно вертикальної та горизонтальної вісі. При цьому за рівнянням сходу можна визначити початкові (схід) та кінцеві (захід) координати сонця відносно конкретної дати. Вважаючи, що за кожні 5 хвилин часу сонце змінює кут приблизно на 1 градус, можна визначити розмір пам'яті, необхідний для збереження річної таблиці координат.

Будемо вважати що кожен кут зберігається у вигляді 1 байту, дата та час ще по 2 байти кожний. Разом для одного моменту часу отримаємо 6 байт інформації. Кількість відліків по 5 хвилин розрахуємо для дня коли сонце проходить найдовший шлях — день літнього сонцестояння (21 червня). В цей день, починаючи зі сходу і до заходу, сонце знаходиться в небі 16 год. 15 хв. Таким чином загальний час у хвилинах складе 975 хвилин. На цей день нам необхідно зробити 195 відліків тривалістю по 5 хвилин. Помноживши на 6 байт отримаємо 1170 байт інформації на день. Кількість байт для року, з урахуванням високосного, становитиме 428220 байт або 419 кілобайт. Отриманий об'єм пам'яті цілком доступний для сучасних мікроконтролерних систем керування.

Для повороту панелі на сонце використовуються системи електроприводу, які здійснюють як обертовий рух так і поступальний. Останні отримали назву актуатори і призначені для перетворення обертового руху в поступальний (рис.1.2).

Системи спостереження за сонцем можна класифікувати за таким важливим показником, як кількість осей.

Трекери з однією віссю обертання

Одноосьові трекири мають одну ступінь свободи, яка є віссю обертання. Такі трекири поділяються на горизонтальні, вертикальні і похилі.

Трекер з горизонтальною віссю. Вісь обертання горизонтально орієнтована по відношенню до землі. Такі пристрої забезпечують високу ефективність

Підп. і дата	
Інв. № дубл.	
Зам. Інв. №	
Підп. і дата	
Інв. № подл.	

					ЕП.ПД.18.14.ПЗ	Арк
Зм.	Арк..	№ докум.	Підп.	Дата		11

протягом весни і літа, коли сонце високо в небі. Жорсткий каркас і простий механізм є основою високої надійності (рис. 1.3).



Рисунок 1.2 – Актуатор



Рисунок 1.3 - Трекер з горизонтальною віссю

Трекери з вертикальною віссю. Вісь обертання вертикально орієнтована по відношенню до землі. Ці трекери обертаються зі сходу на захід протягом дня. Вертикальні одновісним системи обертаються тільки навколо вертикальної осі, панелі на них закріплюються вертикально під фіксованим, можливістю регулювання кута нахилу (рис. 1.4).

Підп. і дата	
Інв. № дубл.	
Зам. Інв. №	
Підп. і дата	
Інв. № подл.	

Зм.	Арк..	№ докум.	Підп.	Дата

ЕП.ПД.18.14.ПЗ

Арк

12



Рисунок 1.4 - Трекер з вертикальною віссю

Трекери з одного похилою віссю обертання. Всі трекери з осями обертання між горизонтальною і вертикальною вважається такими.

Трекери з двома осями обертання

Такі трекери мають два ступені свободи, які виступають в якості осей обертання. Як правило, ці осі не пов'язані одна з одною, але працюють разом. Одна вісь фіксується по відношенню до землі. Вона є основною. Інша вісь може розглядатися як вторинна. І навпаки (рис. 17).



Рисунок 1.5 - Трекер з двома вісями

На теперішній час площа наземних сонячних електростанцій більша ніж дахових.

Підп. і дата	
Інв. № дубл.	
Зам. Інв. №	
Підп. і дата	
Інв. № подл.	

Зм.	Арк..	№ докум.	Підп.	Дата

ЕП.ПД.18.14.ПЗ

1.3 Система орієнтування сонячних панелей.

Завдання на проектування та технічні вимоги

В дипломному проєкті необхідно розробити електромеханічну систему орієнтування сонячних панелей дахової електростанції за сонцем. Для цього необхідно:

- 1) розрахувати потужність електродвигуна системи повороту сонячних панелей;
- 2) вибрати систему електропривода;
- 3) використовуючи вибрану систему електропривода, розробити автомати зовану систему орієнтації панелей на сонце;
- 4) вибрати необхідні складові елементи системи;
- 5) перевірити роботу розробленої системи методами математичного моделювання.

На рис. 1.6 представлено розміщення панелей на рамі. Рама встановлена на плоскому даху і вміщує 6 сонячних панелей в ряд розташованих вертикально. Таке рішення прийнято і розраховане на:

- зменшення впливу вітрових навантажень на панелі та дах;
- зменшення ваги конструкцій, що тримають панелі;
- полегшення обслуговування установки;
- збільшення корисної площини для встановлення панелей;
- зменшення зон тіні при обертанні панелі.

Вихідні дані для проектування надані в табл. 1.1.

Таблиця 1.1

Вихідні дані для проектування

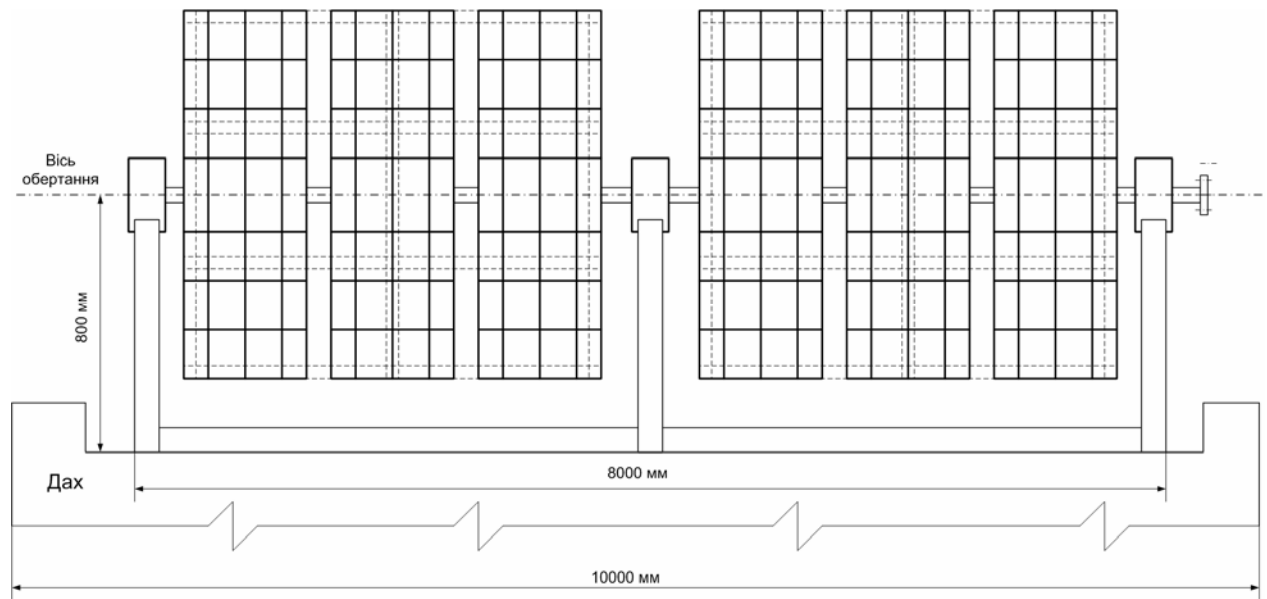
Найменування	Значення
Тип панелі	PLM 260P
Потужність, Вт	260
Габаритний розмір (Д×Ш×Г), мм	1640×992×35
Вага однієї панелі, кг	17,6
Кількість панелей на одній рамі	6
Вага рами, що обертається, кг	35

Підп. і дата
Інв. № дубл.
Зам. Інв. №
Підп. і дата
Інв. № подл.

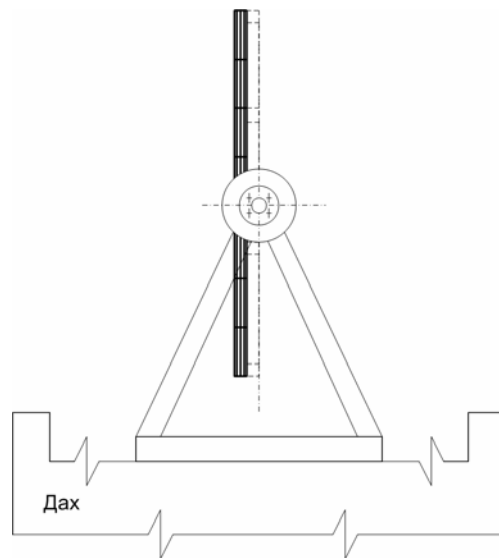
Зм.	Арк..	№ докум.	Підп.	Дата	ЕП.ПД.18.14.ПЗ	Арк
						14

При проектуванні забезпечити:

- заданий діапазон зміни кутів нахилу $0-90^{\circ}$;
- точність вимірювання кута обертання $\pm 1^{\circ}$;
- живлення системи орієнтації передбачити від двох джерел: накопичувальних пристроїв самої електростанції (рівень напруги постійного струму 30-50 В) та від стаціонарної мережі змінного струму 220/380 В.



а)



б)

Рисунок 1.6 - Блок сонячних панелей (а – вигляд спереду, б- вигляд справа)

Підп. і дата	
Інв. № дубл.	
Зам. Інв. №	
Підп. і дата	
Інв. № подл.	

Зм.	Арк..	№ докум.	Підп.	Дата
-----	-------	----------	-------	------

ЕП.ПД.18.14.ПЗ

Арк

15

2 АВТОМАТИЗОВАНИЙ ЕЛЕКТРОПРИВОД

2.1 Розрахунок навантажень та вибір двигуна

Для визначення потужності привідного двигуна розрахуємо статичні та динамічні моменти на валу двигуна під час відпрацювання робочої тахограми. Для розрахунку скористаємося рис. 2.1. На цьому рисунку зображено розподіл сил ваги та коефіцієнтів вітрового навантаження.

Основні сили опору руху виникають в цапфах підшипників, у яких обертається вал з закріпленими на ньому панелями. В цапфі виникає момент опору від сили ваги P_{Π} , величина якої визначається масою всіх панелей та конструкцій, що обертаються, а також від складової сили вітру F_Y , яка визначається коефіцієнтом C_Y . Величина цього коефіцієнту залежить від куту нахилу панелі та інших умов. Складова F_Y , залежна від коефіцієнту C_X , утворює момент, який намагається перевернути стійку з панелями.

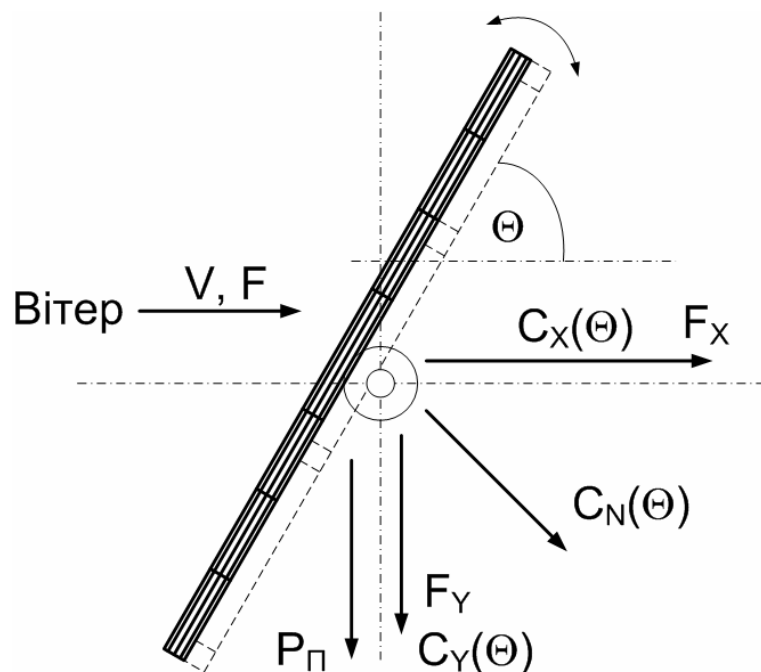


Рисунок 2.1 – Коефіцієнти вітрового навантаження та сила ваги

Розрахуємо момент статичного опору від ваги панелей:

Підп. і дата	
Інв. № дубл.	
Зам. Інв. №	
Підп. і дата	
Інв. № подл.	

Зм.	Арк..	№ докум.	Підп.	Дата
-----	-------	----------	-------	------

ЕП.ПД.18.14.ПЗ

Арк

16

$$M_{II} = \frac{g(N_{II}m_{II} + m_P) \cdot d_{ц} \cdot \mu_{ц}}{2} = \frac{9,81(6 \cdot 17,6 + 35) \cdot 0,04 \cdot 0,015}{2} = 0,82 \text{ Нм}$$

де: m_{II} - маса однієї панелі, кг;

N_{II} - кількість панелей у секції;

m_P - маса рами на якій розташовані панелі, кг;

$d_{ц}$ - діаметр цапфи опорного підшипника, м;

$\mu_{ц}$ - коефіцієнт тертя катіння в підшипниках.

Для визначення моменту опору від сили вітру спочатку визначимо статичну складову вітрового навантаження, яка діє на панель:

$$F = pA,$$

де A – розрахункова площа панелі, м²; p – розподілене вітрове навантаження на одиницю розрахункової площі, Па.

Розподілене вітрове навантаження p визначається за формулою [1]:

$$p = qkcn,$$

де q – розрахункова площа панелі, м²; k – розподілене вітрове навантаження на одиницю розрахункової площі, Па; n – коефіцієнт перевантаження; c – коефіцієнт аеродинамічної сили.

За даними [1] наступні коефіцієнти мають такі значення:

$$q = 350 \text{ Па}, \quad k = 1, \quad n = 1.1.$$

За додатком 2, п. 7 для сполошних елементів коефіцієнти c визначаються за наступними формулами:

коефіцієнт нормальної сили

$$c_H(\Theta) = c_X \sin^2(\Theta)$$

коефіцієнт лобового опору

$$c_X(\Theta) = c_X \sin^3(\Theta)$$

Підп. і дата	
Інв. № дубл.	
Зам. Інв. №	
Підп. і дата	
Інв. № подл.	

					ЕП.ПД.18.14.ПЗ	Арк
Зм.	Арк..	№ докум.	Підп.	Дата		17

коефіцієнт аеродинамічної сили, направленої перпендикулярно до швидкості вітру

$$c_Y(\Theta) = c_X \sin^2(\Theta) \cos(\Theta)$$

Коефіцієнт лобового опору c_X визначимо з додатку 4 [2], $c_X = 2,49$.

Визначимо як буде змінюватись значення c_Y в залежності від кута повороту панелі. Такий графік наведено на рис. 2.2. Максимальне значення коефіцієнту відповідає куту нахилу 55° і складає $c_Y = 0,96$.

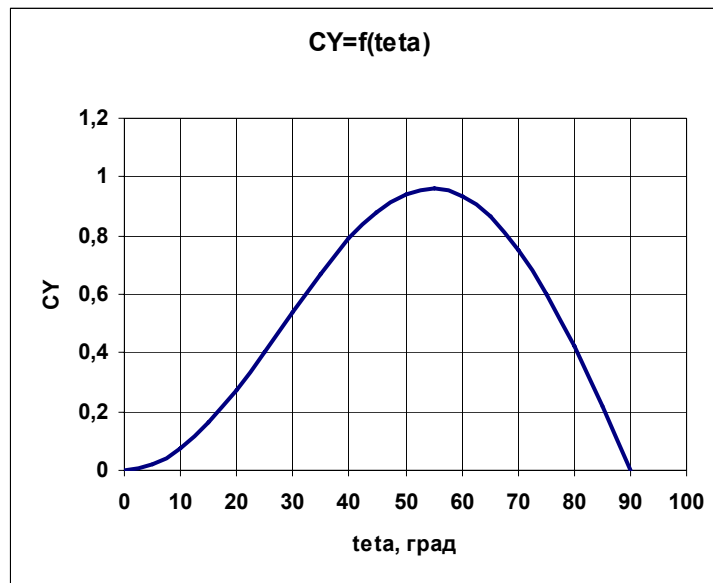


Рисунок 2.2 Залежність коефіцієнта c_Y від кута повороту панелі

Активна площа сонячної панелі (її проекція на вертикальну площину) також залежить від кута повороту панелі і може бути визначена за наступною формулою:

$$A = Ш \times \sin(\Theta),$$

де $Ш$ – ширина панелі.

Якщо підставити всі визначені складові у формулу для визначення складової сили F_Y , отримаємо наступний вираз:

$$F_Y(\Theta) = pA = qknc_Y(\Theta)A(\Theta) = 385(c_X \sin^2(\Theta) \cos(\Theta))(Ш \sin(\Theta))$$

Підп. і дата	
Інв. № дубл.	
Зам. Інв. №	
Підп. і дата	
Інв. № подл.	

На рис. 2.3 подано графік зміни сили F_Y в залежності від кута повороту панелі. Максимальне значення відповідає куту в 60 градусів і складає $F_Y = 506 \text{ Н}$.

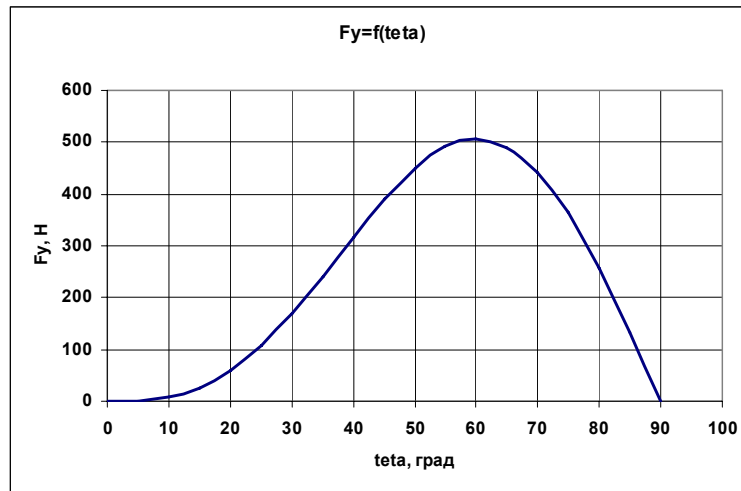


Рисунок 2.3 Залежність сили F_Y від кута повороту панелі

Момент опору від сили F_Y визначимо аналогічно попередньому випадку:

$$M_F = \frac{F_Y \cdot d_u \cdot \mu_u}{2} = \frac{506 \cdot 0,04 \cdot 0,015}{2} = 0,15 \text{ Нм}$$

Таким чином повний статичний момент визначиться як сума відповідних складових:

$$M_C = M_{II} + M_F = 0,82 + 0,15 = 0,97 \text{ Нм}$$

Задамося швидкістю обертання (повороту) панелей $\omega_C = 0,1 \text{ рад/с}$. Це відповідає одному оберту за хвилину. З одного боку ця швидкість занадто мала, але рух сонця ще повільніший. Але з іншого боку – достатня, щоб швидко змінити кут панелі на разі, наприклад, поганих погодних умов (град, ураган і т.д).

Визначимо статичну потужність, необхідну для усталеного руху:

$$P_C = M_C \times \omega_C = 0,97 \cdot 0,1 = 0,097 \text{ Вт}$$

Для розрахунку динамічного моменту визначимо момент інерції рухомих мас. Момент інерції панелі, яка обертається навколо своєї вісі визначимо за стандартною формулою:

Підп. і дата	
Інв. № дубл.	
Зам. Інв. №	
Підп. і дата	
Інв. № подл.	

$$J_{II} = m_{II} \frac{D^2 + \Gamma^2}{12} = 17,6 \times \frac{1,64^2 + 0,035^2}{12} = 3,94 \text{ кгм}^2$$

де $\Gamma = 0,035$ м товщина панелі.

Загальний момент інерції на стороні механізму з урахуванням обертаючихся частин знайдемо як:

$$J_{СП} = 1,1 \times N_{II} J_{II} = 1,1 \times 6 \times 3,94 = 26 \text{ кгм}^2$$

Задамося допустимим прискоренням $\varepsilon = 0,1$ рад/с². Тоді динамічний момент двигуна, необхідний для руху знайдемо з відомого рівняння руху електромеханічної системи:

$$J \frac{d\omega}{dt} = M_D - M_C$$

де M_D – динамічний момент двигуна;

M_C – момент статичного опору;

dt – час за який необхідно розігнатися;

$d\omega$ – зміна швидкості .

Динамічний момент, необхідний для розгону з заданим прискоренням:

$$M_D = J_{СП} \times \varepsilon + M_C = 26 \times 0,1 + 0,97 = 3,57 \text{ Нм}$$

Для приводу системі повороту вибираємо двигун з черв'ячним мотор-редуктором. Така система забезпечить малий габарит та компактний розмір. При цьому передатне число системи буде достатньо великим, що забезпечить повільний рух системи.

Систему регулювання збудуємо на основі електроприводу змінного струму з векторною системою керування.

Для зменшення габаритів системи за базову швидкість двигуна приймемо $n_0 = 1000$ об/хв. ($\omega_0 = 104,72$ рад/с). Визначимо передатне число редуктора

$$i_P = \omega_0 / \omega_C = 104,72 / 0,1 = 1047,2$$

Підп. і дата	
Інв. № дубл.	
Зам. Інв. №	
Підп. і дата	
Інв. № подл.	

					ЕП.ПД.18.14.ПЗ	Арк
Зм.	Арк..	№ докум.	Підп.	Дата		20

З каталогу Італійської компанії TRANSTECHNO вибираємо компактний подвійний черв'ячний редуктор типу FT030/050 з передатним числом $i_p = 1200$.

Для даних типів редукторів використовується стандартний асинхронний двигун з короткозамкненим ротором потужністю 180 Вт та швидкістю обертання 1000 об/хв, наприклад 4AA63A6 [8]. Технічні дані двигуна наведені в табл. 2.1.

Таблиця 2.1 – Вихідні дані асинхронного двигуна

Тип двигуна	4AA63A6У3
Номінальна потужність P_H , кВт	0,18
Номінальна фазна напруга $U_{фн}$, В	220
Номінальний ККД η_H	0,56
Номінальний $\cos \varphi_H$	0,62
Момент інерції J_D , кг*м ²	0,0018
Число пар полюсів Z_p	3
Номінальне ковзання s_H	0,115
Критичне ковзання s_K	0,55
Кратність пускового моменту $M_{п}^*$, в.о.	2,2
Кратність максимального моменту $M_{кр}^*$, в.о.	2,2
Параметри схеми заміщення у відносних одиницях	
Активний опір статора R_s^* , в.о.	0,24
Зведений активний опір ротора R_r^* , в.о.	0,22
Індуктивний опір статора X_s^* , в.о.	0,15
Зведений індуктивний опір ротора X_r^* , в.о.	0,18
Індуктивний опір повітряного зазору X_μ^* , в.о.	1,3

Номінальна швидкість обертання двигуна n_H дорівнює, об/хв:

$$n_H = n_C(1 - s_H) = 1000 \times (1 - 0,115) = 885 \text{ об/хв.}$$

Номінальна кутова частота обертання двигуна:

$$\omega_H = \frac{\pi \times n_H}{30} = \frac{3,1415 \times 885}{30} = 92,67 \text{ рад/с.}$$

Підп. і дата	
Інв. № дубл.	
Зам. Інв. №	
Підп. і дата	
Інв. № подл.	

Зм.	Арк..	№ докум.	Підп.	Дата

ЕП.ПД.18.14.ПЗ

Арк

21

Номинальний момент двигуна визначимо за формулою:

$$M_n = \frac{9,55 \cdot P_n}{n_C \cdot (1 - s_n)} = \frac{9,55 \cdot 1100}{1000 \cdot (1 - 0,115)} = 1,94 \text{ Нм}$$

де P_n – номінальна потужність електродвигуна; Вт; n_C – синхронна швидкість поля статора, об/хв; s_n – номінальне ковзання електродвигуна.

Номинальний фазний струм статора:

$$I_{\phi n} = \frac{P_n}{3 \cdot U_{\phi n} \cdot \eta_n \cdot \cos \varphi_n} = \frac{180}{3 \cdot 220 \cdot 0,56 \cdot 0,62} = 0,78 \text{ А,}$$

де $U_{\phi n}$ – номінальна фазна напруга двигуна; В; η_n – номінальний ККД двигуна; $\cos \varphi_n$ – номінальний коефіцієнт потужності двигуна.

Для переводу опорів з відносних одиниць в абсолютні скористаємося виразом:

$$Z = Z^* \cdot Z_B = Z^* \cdot \frac{U_{\phi n}}{I_{\phi n}}$$

де $Z_B = \frac{U_{\phi n}}{I_{\phi n}}$ – базовий опір; Ом; Z^* – опір у відносних одиницях; Z – шуканий опір, Ом.

Визначимо базовий опір:

$$Z_b = \frac{U_{\phi n}}{I_{\phi n}} = \frac{220}{0,78} = 280 \text{ Ом}$$

Активний опір статора:

$$R_1 = 0,24 \times 280 = 67,2 \text{ Ом}$$

Активний опір ротора:

$$R_2 = 0,22 \times 280 = 61,6 \text{ Ом}$$

Підп. і дата	
Інв. № дубл.	
Зам. Інв. №	
Підп. і дата	
Інв. № подл.	

					ЕП.ПД.18.14.ПЗ	Арк
Зм.	Арк..	№ докум.	Підп.	Дата		22

Індуктивний опір статора:

$$X_1 = 0,15 \times 280 = 42 \text{ Ом},$$

Індуктивний опір ротора:

$$X_2 = 0,18 \times 280 = 50,4 \text{ Ом},$$

Індуктивний опір кола намагнічування:

$$X_\mu = 1,3 \times 280 = 364,0 \text{ Ом},$$

Індуктивний опір короткого замикання:

$$X_K = X_1 + X_2 = 42 + 50,4 = 92,4 \text{ Ом}.$$

Частота живлячої мережі:

$$\omega_0 = 2\pi f = 2\pi \times 50 = 314,159 \text{ с}^{-1}$$

Індуктивність розсіювання обмотки статора:

$$L_{s\sigma} = X_1 / \omega_0 = 42 / 314,159 = 0,133,$$

де $\omega_0 = 2\pi f$ – кутова частота живлячої мережі, рад/с; $f = 50 \text{ Гц}$ – номінальна частота живлячої мережі.

Індуктивність розсіювання обмотки ротора:

$$L_{r\sigma} = X'_2 / \omega_0 = 13,74 / 314,159 = 0,16 \text{ Гн}.$$

Максимальна взаємна індуктивність між обмотками статора и ротора:

$$L_m = X_\mu / \omega_0 = 115,78 / 314,159 = 1,158 \text{ Гн}.$$

Повна індуктивність обмотки статора:

$$L_{1s} = L_{s\sigma} + L_m = 0,133 + 1,158 = 1,291 \text{ Гн}.$$

Повна індуктивність обмотки ротора:

$$L_r = L_{r\sigma} + L_m = 0,16 + 1,158 = 1,318 \text{ Гн}.$$

Інв. № подл.	Підп. і дата
Зам. Інв. №	Інв. № дубл.
Підп. і дата	Підп. і дата

Зм.	Арк..	№ докум.	Підп.	Дата	ЕП.ПД.18.14.ПЗ	Арк
						23

Розраховані параметри двигуна та абсолютні значення параметрів схеми заміщення зведені до табл. 2.2

Таблиця 2.2 – Параметри двигуна 4АА63А6У3

Активний опір статора R_s , Ом	67,2
Зведений активний опір ротора R_r , Ом	61,6
Індуктивність обмотки статора L_s , Гн	1,291
Індуктивність обмотки ротора L_r , Гн	1,318
Індуктивність намагнічування L_m , Гн	1,158
Номінальний момент M_n , Нм	1,94
Номінальний фазний струм $I_{фн}$, А	0,78
Номінальна частота обертання ω_n , рад/с	92,67

Як показує аналіз літератури [3, 10, 11, 13] регулювання моменту та швидкості асинхронного двигуна забезпечують системи векторного керування координатами електропривода, побудовані за принципами підлеглого керування. Побудова векторної системи керування можлива, якщо асинхронний двигун представити у обертовій системі координат, що пов'язана з потокозчепленням ротора. Для регулювання кута нахилу сонячної панелі на основі векторної системи регулювання швидкості асинхронного двигуна створимо систему регулювання положення.

2.2 Модель асинхронного короткозамкненого двигуна в системі координат, орієнтованій за вектором потокозчеплення ротора

Рівняння асинхронної машини, записані у термінах узагальненого вектора і представлені в координатній системі, що обертається зі ω_c , мають вид [9]:

$$\bar{U}_s = \bar{I}_s R_s + \frac{d\bar{\Psi}_s}{dt} + j\omega_c \bar{\Psi}_s,$$

Підп. і дата	
Інв. № дубл.	
Зам. Інв. №	
Підп. і дата	
Інв. № подл.	

					ЕП.ПД.18.14.ПЗ	Арк
Зм.	Арк..	№ докум.	Підп.	Дата		24

$$\bar{U}_r = \bar{I}_r R_r + \frac{d\bar{\Psi}_r}{dt} + j(\omega_c - \omega)\bar{\Psi}_r.$$

$$\bar{\Psi}_s = \bar{I}_s L_s + \bar{I}_r L_m,$$

$$\bar{\Psi}_r = \bar{I}_s L_m + \bar{I}_r L_r,$$

де $\bar{U}_s, \bar{I}_s, \bar{\Psi}_s$ – узагальнені вектори напруги, струму і потокозчеплення статора; $\bar{U}_r, \bar{I}_r, \bar{\Psi}_r$ – узагальнені вектори напруги, струму і потокозчеплення ротора; R_s, R_r – активні опори статора і ротора; ω_c – швидкість обертання системи координат; ω – швидкість обертання ротора; L_s, L_r, L_m – індуктивність статора, ротора і взаємна індуктивність статора і ротора відповідно; $j = \sqrt{-1}$.

Для виводу рівнянь, за якими будується структурна схема асинхронного двигуна з короткозамкненим ротором, використаємо систему координат u, v , яка обертається з синхронною швидкістю ω_c та орієнтована за вектором потокозчеплення ротора $\bar{\Psi}_r$. Вісь u є дійсною віссю, а вісь v – уявною.

З двох останніх рівнянь системи виразимо вектори потокозчеплення статора $\bar{\Psi}_s$ та струму ротора \bar{I}_r :

$$\bar{\Psi}_s = \bar{I}_s L_s \left(\frac{L_s L_r - L_m^2}{L_s L_r} \right) + \bar{\Psi}_r \frac{L_m}{L_r} = \bar{I}_s L'_s + K_r \bar{\Psi}_r,$$

$$\bar{I}_r = K_r \left(\frac{\bar{\Psi}_r}{L_m} - \bar{I}_s \right),$$

де $K_r = \frac{L_m}{L_r}$ – коефіцієнт електромагнітного зв'язку ротора; $L'_s = L_s - \frac{L_m^2}{L_r}$ – перехідна індуктивність статора [14].

Виконуючи ряд подальших перетворень, представлених в [4] отримаємо дві системи рівнянь, що описують асинхронний двигун в координатній системі u, v :

Підп. і дата
Инв. № дубл.
Зам. інв. №
Підп. і дата
Инв. № подл.

					ЕП.ПД.18.14.ПЗ	Арк
Зм.	Арк..	№ докум.	Підп.	Дата		25

$$\left. \begin{aligned} \Psi_{ru} &= \frac{U_{ru}T_r + I_{su}L_m}{1 + pT_r} \\ \omega_c &= \omega + \frac{U_{rv} + K_r R_r I_{sv}}{\Psi_{ru}} \end{aligned} \right\}$$

$$\left. \begin{aligned} U_{su} - K_r U_{ru} &= I_{su} R'(1 + pT'_s) - \omega_c L'_s I_{sv} - \frac{K_r}{T_r} \Psi_{ru} \\ U_{sv} - K_r U_{rv} &= I_{sv} R'(1 + pT'_s) + \omega_c L'_s I_{su} + \omega K_r \Psi_{ru} \end{aligned} \right\},$$

де $T_r = \frac{L_r}{R_r}$ – стала часу ротора; $T'_s = \frac{L'_s}{R'}$ – перехідна стала часу статора [1],

$p = \frac{d}{dt}$ – оператор Лапласа, де $R' = R_s + K_r^2 R_r$ – перехідний опір статора [4].

Рівняння електромагнітного моменту двигуна:

$$M = \frac{3}{2} Z_p K_r \Psi_{ru} I_{sv},$$

де Z_p – число пар полюсів двигуна.

Рівняння руху системи:

$$J \frac{d\omega_m}{dt} = M - M_c,$$

де J – момент інерції двигуна (або сумарний момент інерції системи, зведений до валу двигуна); M_c – статичний момент на валу двигуна, ω_m – механічна швидкість обертання ротора.

На рис. 2.4 представлена структурна схема АД з короткозамкнутим ротором, побудована за отриманими виразами системі координат, орієнтованій за вектором потокозчеплення ротора $\bar{\Psi}_r$.

Підп. і дата	
Інв. № дубл.	
Зам. Інв. №	
Підп. і дата	
Інв. № подл.	

					ЕП.ПД.18.14.ПЗ	Арк
Зм.	Арк..	№ докум.	Підп.	Дата		26

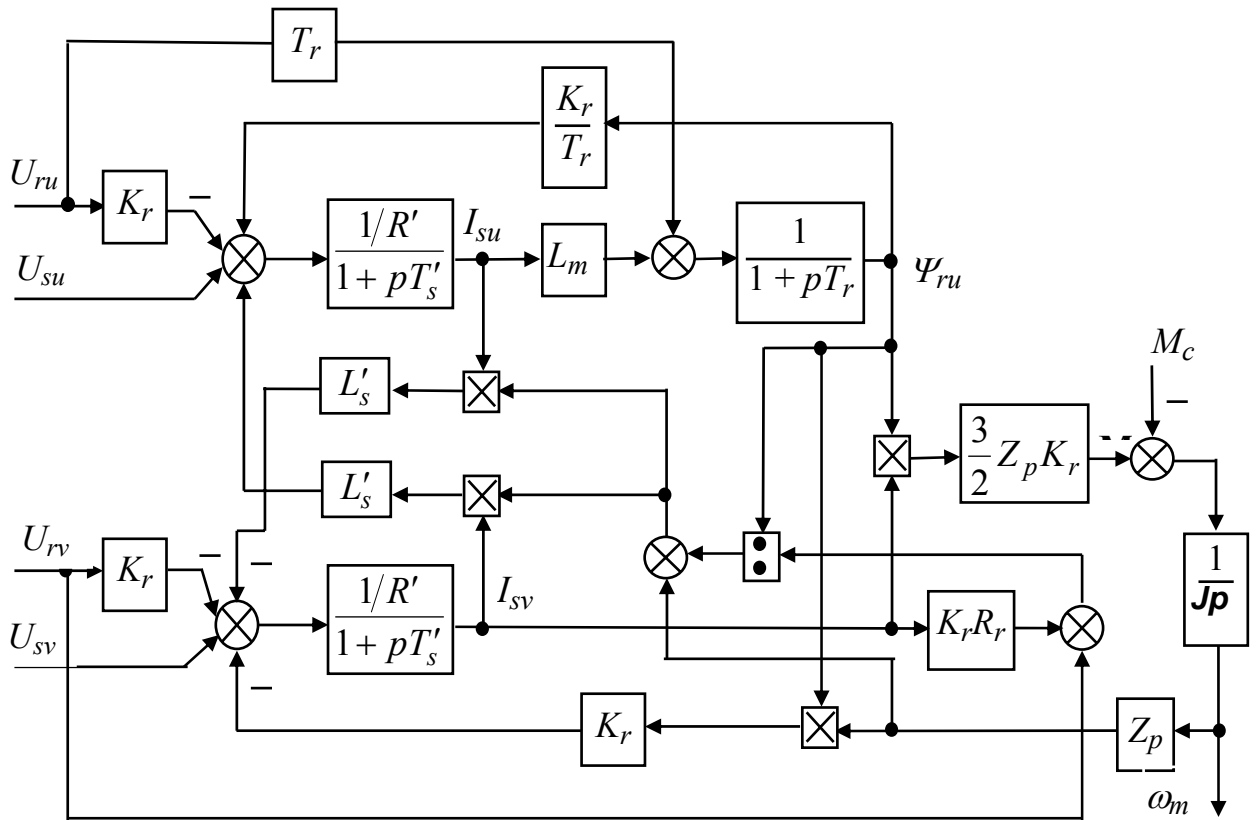


Рисунок 2.4 – Структурна схема АД в системі координат, зв'язаній з вектором потокозчеплення ротора Ψ_r

2.3 Синтез системи регулювання швидкості асинхронного двигуна

Всі сучасні системи регулювання швидкості електродвигунів будуються за принципами підлеглого регулювання координат електропривода і характеризуються каскадним розташуванням регуляторів. Кількість регуляторів визначається кількістю регульованих координат (швидкість, струм, момент, положення і т.і.) [5, 10, 11].

На вході регулятора кожного з контурів порівнюються сигнали, пропорційні заданому та дійсному значенню координати контуру, а вихідна напруга регулятора є сигналом завдання для наступного контуру.

Однією з переваг системи є можливість доволі просто обмежувати регульовану координату шляхом обмеження сигналу завдання з виходу

Підп. і дата	
Інв. № дубл.	
Зам. Інв. №	
Підп. і дата	
Інв. № подл.	

попереднього регулятора. Серед недоліків – зниження швидкодії системі з кожним новим контуром вдвічі.

Синтез регуляторів системи здійснюється з середини, від внутрішнього регулятора до зовнішнього. Серед критеріїв оптимізації регуляторів використовують в основному модульний та симетричний критерії оптимізації. Вибір критерію залежить від типу передавальних функцій, що входять до складу контуру, та бажаної перехідної функції контуру.

Структурна схема системи автоматичного регулювання (САР) швидкості АД представлена на рис. 2.5.

САР має два канали регулювання. Канал регулювання потокозчеплення ротора складається з контуру потокозчеплення і підлеглого йому контуру потокоутворюючої складової струму статора (складова I_{su} за віссю u). Канал регулювання швидкості складається з контуру швидкості і підлеглого йому контуру моментоутворюючої складової струму статора (складова I_{sv} за віссю v).

До складу контурів струму зі сторони САР входять регулятор струму та перетворювач частоти ПЧ, представлений аперіодичною ланкою з малою некомпенсованою сталою часу T_{μ} . Зовнішні контури складаються з регуляторів швидкості та потокозчеплення відповідно. Інформація о регульованих координатах поступає з датчиків струму $ДТ$, швидкості $ДС$ та потокозчеплення $Д\psi$.

На вході контуру потоку може використовуватись функціональний блок $\PhiБ$, реалізуючий функціональну залежність потокозчеплення від швидкості для випадку двозонного регулювання швидкості.

Підп. і дата	
Инв. № дубл.	
Зам. Інв. №	
Підп. і дата	
Инв. № подл.	

					ЕП.ПД.18.14.ПЗ	Арк
Зм.	Арк..	№ докум.	Підп.	Дата		28

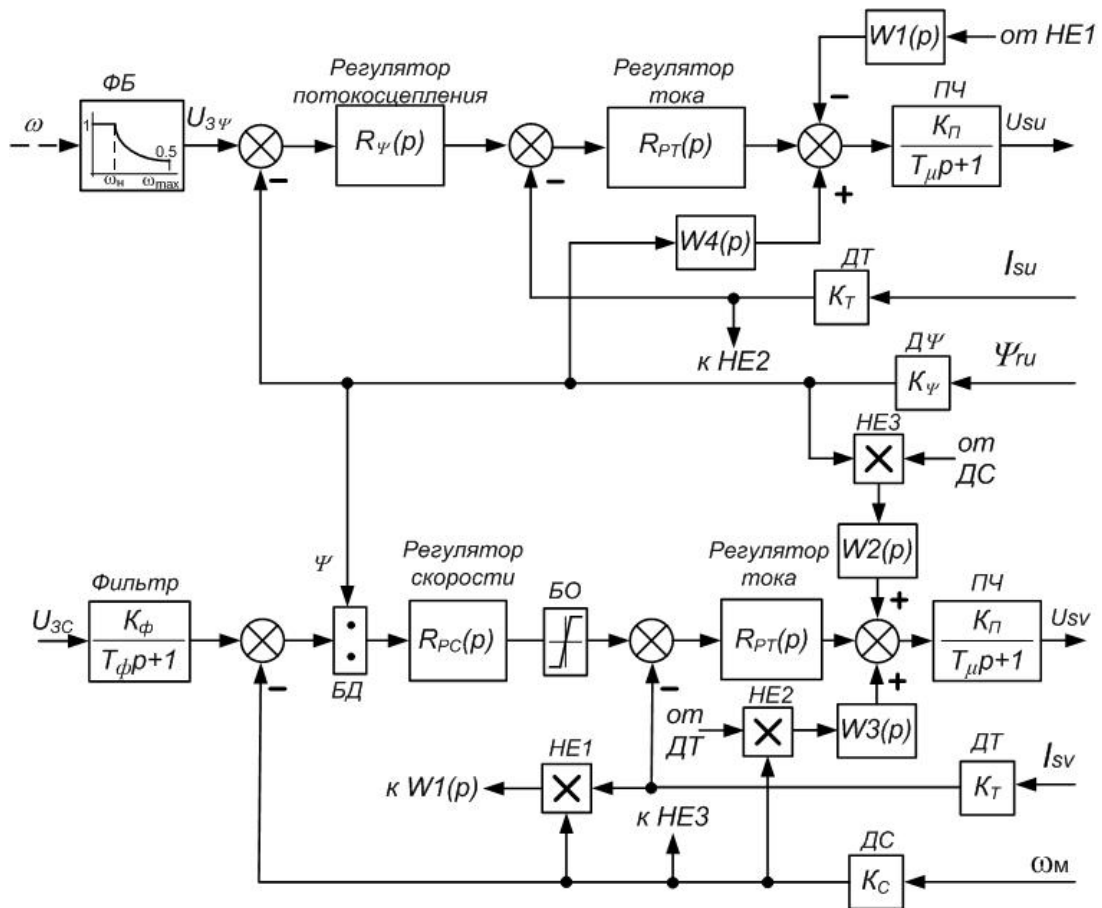


Рисунок 2.5 - Система регулювання швидкості асинхронного двигуна з короткозамкненим ротором в системі координат $u-v$, орієнтованій за вектором потокозчеплення ротора $\bar{\Psi}_r$.

Для компенсації нелінійностей та перехресних зв'язків, присутніх в об'єкті керування, в двигуні, використовуються ланки $W1, W2, W3, W4$ вихідні сигнали яких подаються на вхід ПЧ (за аналогією з компенсацією впливу зворотного зв'язку за ЕРС двигуна в системах постійного струму).

Для синтезу регуляторів визначимо відсутні параметри.

Коефіцієнт електромагнітного зв'язку:

$$K_r = \frac{L_m}{L_r} = \frac{1,158}{1,318} = 0,878$$

Перехідна індуктивність статора:

Підп. і дата	
Інв. № дубл.	
Зам. Інв. №	
Підп. і дата	
Інв. № подл.	

$$L'_s = L_s - \frac{L_m^2}{L_r} = 1,291 - \frac{1,158^2}{1,318} = 0,273 \text{ Гн}$$

Перехідний опір статора:

$$R' = R_1 + K_r^2 R_2' = 67,2 + 0,878^2 \times 61,6 = 114,68 \text{ Ом}$$

Стала часу ротора:

$$T_r = \frac{L_r}{R_2'} = \frac{1,318}{61,6} = 0,021 \text{ с}$$

Перехідна стала часу статора:

$$T'_s = \frac{L'_s}{R'} = \frac{0,273}{114,68} = 0,0024 \text{ с}$$

Коефіцієнт датчика струму розраховуємо з урахуванням подвійного перевантаження за струмом та відносно амплітудного значення фазного струму:

$$K_T = \frac{U_{\text{max}}}{2\sqrt{2}I_{\text{фн}}} = \frac{10}{2\sqrt{2} \times 0,78} = 4,53 \text{ В/А}$$

де U_{max} – максимальна робоча напруга системи керування.

Коефіцієнт датчика швидкості:

$$K_C = \frac{U_{\text{max}}}{\omega_n} = \frac{10}{92,67} = 0,108 \text{ Вс/рад}$$

Номинальне потокозчеплення двигуна:

$$\Psi_n = \frac{M_n}{1,5 \cdot \sqrt{2} \cdot I_{\text{фн}} \cdot Z_p \cdot K_r} = \frac{1,94}{1,5 \cdot \sqrt{2} \cdot 0,78 \cdot 3 \cdot 0,878} = 0,445 \text{ Вб}$$

Коефіцієнт датчика потокозчеплення:

$$K_\Psi = \frac{U_{\text{max}}}{\Psi_n} = \frac{10}{0,445} = 22,46 \text{ В/Вб}$$

Підп. і дата	
Інв. № дубл.	
Зам. Інв. №	
Підп. і дата	
Інв. № подл.	

					ЕП.ПД.18.14.ПЗ	Арк
Зм.	Арк..	№ докум.	Підп.	Дата		30

Коефіцієнт підсилення перетворювача:

$$K_{\Pi} = \frac{\sqrt{2}U_{\Phi H}}{U_{y \max}} = \frac{\sqrt{2} \times 220}{10} = 31$$

2.3.1 Синтез регулятора струму

Замкнений контур регулювання моментоутворюючої складової струму представлений на рис. 2.6

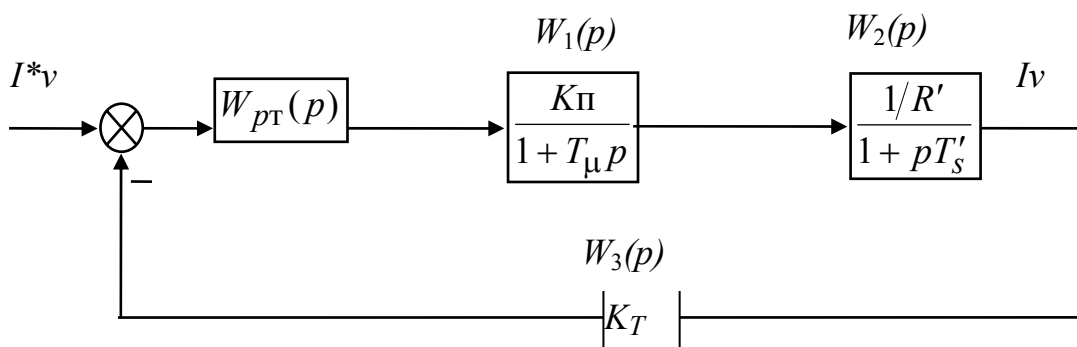


Рисунок 2.6 – Структурна схема контуру регулювання моментоутворюючої складової струму

У складі контуру дві аперіодичні ланки. При такій структурі контур оптимізується за модульним критерієм оптимізації. Передаточна функція модульного оптимуму має вид (бажана):

$$W_{\text{мод}}(p) = \frac{1}{2T_{\mu} p(T_{\mu} p + 1)}$$

Мала стала часу контуру струму включає в себе суму інерційностей в системі, виникаючих при відпрацюванні завдання. До таких затримок відносять сталі часу фільтрів вхідних сигналів струму та напруги, період дискретизації цифрової системи керування, «мертвий час» в роботі силових ключів і т.і. При синтезі регулятора струму T_{μ} прийнято рівною $T_{\mu} = 0,0005$ с.

Підп. і дата	
Інв. № дубл.	
Зам. Інв. №	
Підп. і дата	
Інв. № подл.	

Передаточну функцію регулятора струму визначимо з виразу:

$$W_{ж}(p) = W_{рТ}(p)W_1(p)W_2(p)W_3(p) = \frac{1}{2T_{\mu}p(T_{\mu}p + 1)},$$

Звідки

$$W_{pm}(p) = \frac{W_{жс}(p)}{W_1(p)W_2(p)W_3(p)} = \frac{1}{2T_{\mu}p(T_{\mu}p + 1)} \frac{(T_{\mu}p + 1)}{K_{\Pi}} \frac{R'(1 + pT'_s)}{K_T},$$

$$W_{pm}(p) = \frac{W_{жс}(p)}{W_1(p)W_2(p)W_3(p)} = \frac{R'(1 + pT'_s)}{2T_{\mu}pK_{\Pi}K_T}$$

В результаті зроблених перетворень отримано ПІ-регулятор струму з такими коефіцієнтами:

$$W_{pm}(p) = \frac{R'T'_s}{2T_{\mu}K_{\Pi}K_T} + \frac{R'}{2T_{\mu}pK_{\Pi}K_T} = \frac{114,68 \cdot 0,0021}{2 \cdot 0,0005 \cdot 31 \cdot 4,53} + \frac{114,68}{2 \cdot 0,0005 \cdot 31 \cdot 4,53}$$

$$W_{pm}(p) = k_{pmn} + k_{pmi} \frac{1}{p} = 1,71 + 816,6 \frac{1}{p}$$

Замкнений контур регулювання потокоутворюючої складової струму аналогічний контуру моментоутворюючої складової струму і має такі ж самі характеристики.

2.3.2 Синтез регулятора потокозчеплення ротора

При синтезі передаточної функції регулятора потокозчеплення передаточну функцію замкненого контуру струму подамо у вигляді:

$$W_T(p) = \frac{1/K_T}{2T_{\mu}p + 1},$$

Підп. і дата	
Інв. № дубл.	
Зам. Інв. №	
Підп. і дата	
Інв. № подл.	

					ЕП.ПД.18.14.ПЗ	Арк
Зм.	Арк..	№ докум.	Підп.	Дата		32

де K_T – коефіцієнт передачі датчика струму, T_μ – мала некомпенсована стала часу.

Синтез регулятора потокозчеплення здійснюємо аналогічно синтезу регулятора струму. Структурна схема контуру регулювання потокозчеплення ротора має вид (рис. 2.7):

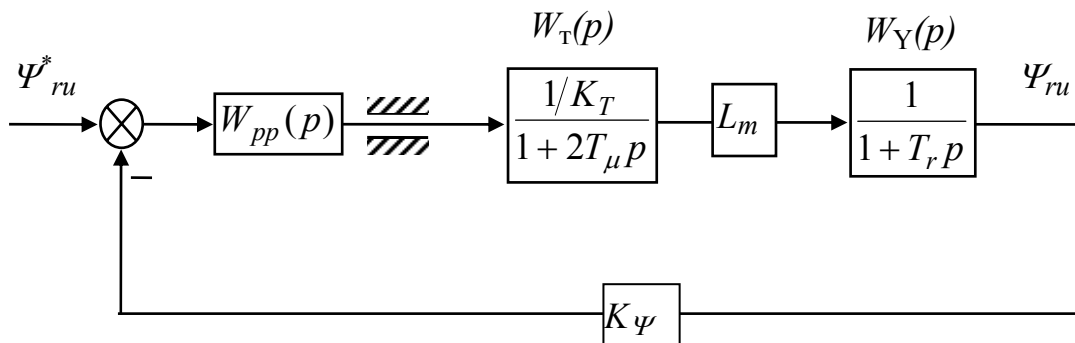


Рисунок 2.7 – Структурна схема контуру регулювання потокозчеплення ротора

Для отримання передаточної функції регулятора потокозчеплення скористаємося модульним критерієм оптимізації, який для контуру потокозчеплення має вид [5, 11]:

$$W_{mod}(p) = \frac{1}{4T_\mu p(2T_\mu p + 1)}$$

Отримана передаточна функція ПІ-регулятора потокозчеплення відповідає виразу:

$$W_{pp}(p) = \frac{K_T(T_r p + 1)}{4T_\mu p L_m K_\psi}$$

Визначимо коефіцієнти регулятора:

$$W_{pp}(p) = \frac{K_T(T_r p + 1)}{4T_\mu p L_m K_\psi p} = \frac{K_T T_r}{4T_\mu L_m K_\psi} + \frac{K_T}{4T_\mu L_m K_\psi} \frac{1}{p}$$

$$W_{pp}(p) = \frac{4,53 \cdot 0,0021}{4 \cdot 0,0005 \cdot 22,46 \cdot 1,158} + \frac{4,53}{4 \cdot 0,0005 \cdot 22,46 \cdot 1,158} \frac{1}{p} = 0,18 + 87,08 \frac{1}{p}$$

Підп. і дата	
Инв. № дубл.	
Зам. Инв. №	
Підп. і дата	
Инв. № подл.	

2.3.3. Синтез регулятора швидкості

При синтезі передаточної функції регулятора швидкості передаточна функція замкнутого контуру струму має вид:

$$W_T(p) = \frac{1/K_T}{2T_\mu p + 1},$$

Контур регулювання швидкості зображено на рис. 2.8. Контур складається з аперіодичної та інтегральної ланки. Для отримання передаточної функції ПІ-регулятора швидкості (астатична система) скористуємося симетричним критерієм оптимізації, передаточна функція якого має вид [5, 11]:

$$W_{sop}(p) = \frac{8T_\mu p + 1}{32T_\mu^2 p^2 (2T_\mu p + 1)}.$$

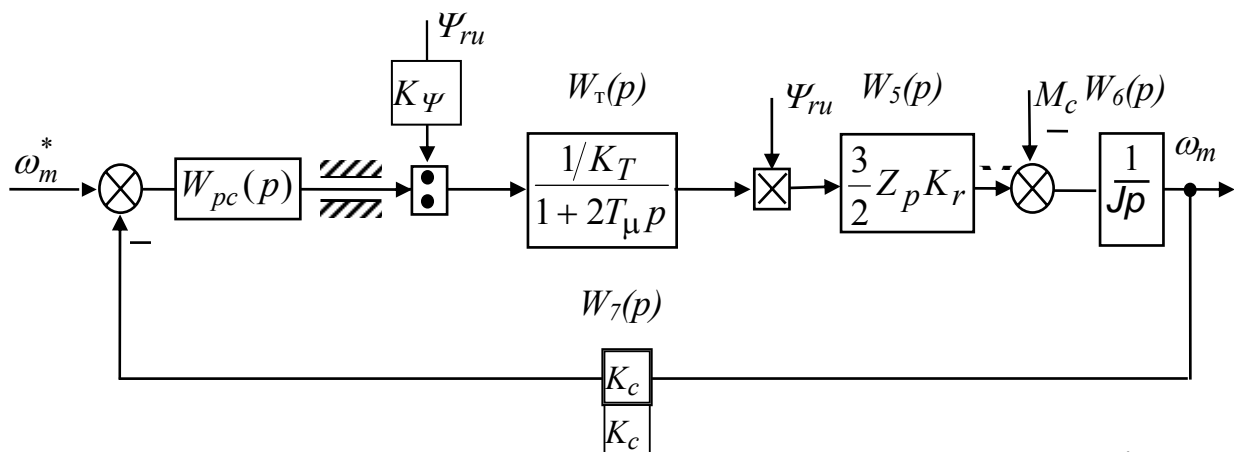


Рисунок 2.8 – Структурна схема контуру регулювання швидкості

Прирівняв добуток всіх ланок розімкненого контуру швидкості до передаточної функції симетричного оптимуму, знайдемо передаточну функцію ПІ-регулятора швидкості:

$$W_{ж}(p) = W_{pc}(p)W_T(p)W_5(p)W_6(p)W_7(p) = \frac{(8T_\mu p + 1)}{32T_\mu^2 p^2 (2T_\mu p + 1)},$$

Підп. і дата	
Інв. № дубл.	
Зам. Інв. №	
Підп. і дата	
Інв. № подл.	

Звідки

$$W_{pc}(p) = \frac{W_{жс}(p)}{W_m(p)W_5(p)W_6(p)W_7(p)} = \frac{(8T_\mu p + 1)}{32T_\mu^2 p^2 (2T_\mu p + 1)} \frac{(2T_\mu p + 1)K_T J K_\Psi}{Z_p K_r K_c p} \frac{2}{3},$$

$$W_{pc}(p) = \frac{W_{жс}(p)}{W_m(p)W_5(p)W_6(p)W_7(p)} = \frac{J_S K_T (8T_\mu p + 1) K_\Psi}{48T_\mu^2 p Z_p K_r K_c},$$

$$W_{pc}(p) = \frac{J_S K_T 8T_\mu K_\Psi}{48T_\mu^2 Z_p K_r K_c} + \frac{J_S K_T K_\Psi}{48T_\mu^2 Z_p K_r K_c} \frac{1}{p}.$$

Для розрахунку коефіцієнтів регулятора струму визначимо зведений до валу двигуна момент інерції системи.

$$J_S = J_D + \frac{J_{СП}}{i^2} = 0,0018 + \frac{26}{1200^2} = 0,00182 \text{ кгм}^2$$

$$W_{pc}(p) = \frac{8 \cdot 0,0005 \cdot 0,00182 \cdot 4,53 \cdot 22,469}{48 \cdot 0,0005^2 \cdot 3 \cdot 0,108 \cdot 0,878} + \frac{0,00182 \cdot 4,53 \cdot 22,46}{48 \cdot 0,0005^2 \cdot 3 \cdot 0,108 \cdot 0,878} \frac{1}{p}$$

$$W_{pc}(p) = 217 + 54245 \frac{1}{p}.$$

2.3.4. Синтез регулятора положення

При синтезі передаточної функції регулятора положення передаточну функцію замкненого контуру швидкості приймемо у вигляді:

$$W_{KC}(p) = \frac{1/K_C}{2T_{\mu C} p + 1}, \quad T_{\mu C} = 4T_\mu$$

Контур регулювання положення представлений на рис. 2.9

Підп. і дата	
Інв. № дубл.	
Зам. інв. №	
Підп. і дата	
Інв. № подл.	

					ЕП.ПД.18.14.ПЗ	Арк
Зм.	Арк..	№ докум.	Підп.	Дата		35

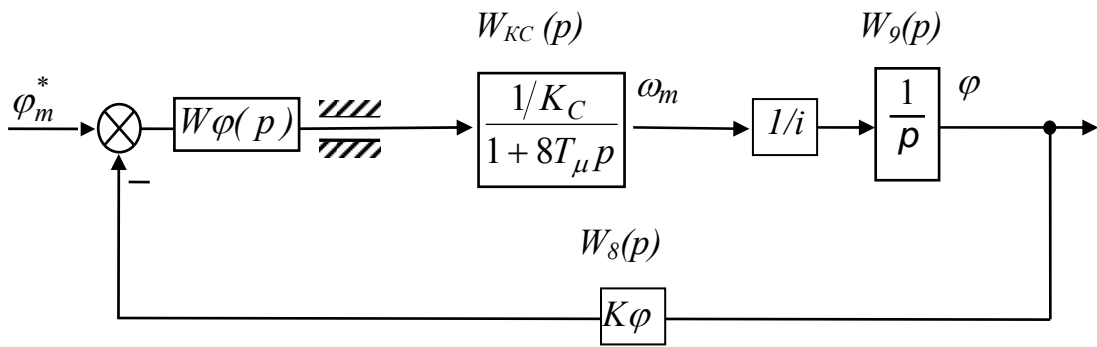


Рисунок 2.9 – Структурна схема контуру регулювання положення

Вибір такої передатної функції означає, що використовується пропорційний регулятор швидкості. При налагодженні СРП на модульний оптимум отримаємо:

$$\frac{1}{2T_{\mu C}p(T_{\mu C}p + 1)} = R_{РП}(p) \frac{1/K_C}{1 + T_{\mu C}p} \frac{1}{p} \frac{1}{i} K_{\varphi}$$

отримаємо наступну передатну функцію пропорційного регулятора положення:

$$R_{РП}(p) = \frac{K_C}{2T_{\mu C}K_{\varphi}i} = \frac{K_C i}{8T_{\mu}K_{\varphi}}$$

де K_C - коефіцієнт датчика зворотного зв'язку за швидкістю, K_{φ} - коефіцієнт датчика зворотного зв'язку за положенням, який дорівнює:

$$K_{\varphi} = \frac{U_{3\varphi max}}{\varphi_{max}} = \frac{10}{\pi/2} = 6,366 \text{ В/рад}$$

Максимальне кутове переміщення в системі складає 90^0 , або $\pi/2$ рад.

$$R_{РП}(p) = \frac{0,108 \times 1200}{8 \times 0,0005 \times 6,366} = 4,2$$

Положення в системі вимірюється за допомогою абсолютного енкодера. Тип та характеристика енкодера надані в табл. 2.3. Використовується саме абсолютний енкодер для того, щоб в кожен момент часу знати дійсне положення панелі в просторі. Енкодер закріплюється на рамі, з зворотної от панелей сторони. На вал

Підп. і дата	
Инв. № дубл.	
Зам. Инв. №	
Підп. і дата	
Инв. № подл.	

енкодера навішується металевий стрижень. Під дією ваги стрижень завжди буде розташований вертикально. Таким чином, при повороті панелі під дією сил ваги вал енодера буде теж обертатись.

Таблиця 2.3

Енодер EP50S8-512-1F-1. Параметри

Найменування	Од.вим.	Значення
Тип		Абсолютний, однообертвий
Зовнішній діаметр, м	мм	50
Роздільна здатність на оберт	імпульсів	512
Напруга живлення (постійний струм)	В	12-24 В
Тип виходу		PNP відкритий колектор
Тип сигналу		Двійковий код
Максимальна частота обертання	Об/хв	3000
Ступінь захисту		IP64
Робоча температура	⁰ С	-25...+70

Реалізація регулятора положення передбачається за допомогою мікроконтролера або промислового контролера невеликих розмірів.

2.3.5 Вибір комплектного перетворювача частоти

Для живлення двигуна вибираємо перетворювач частоти серії АЛТИВАР 930 компанії Schneider Electric

Даний перетворювач має ряд переваг, а саме:

- просте та зручне меню для налаштувань, як за допомогою графічного терміналу, так і за допомогою спеціалізованого програмного забезпечення;
- широкий діапазон потужностей;
- набір спеціалізованих прикладних функцій;
- наявність зручних інструкцій з експлуатації та рекомендацій з використання.

Підп. і дата	
Інв. № дубл.	
Зам. Інв. №	
Підп. і дата	
Інв. № подл.	

					ЕП.ПД.18.14.ПЗ	Арк
Зм.	Арк..	№ докум.	Підп.	Дата		37

По даними двигуна(за номінальним струмом та напругою) з [12] вибираємо перетворювач частоти з наступними характеристиками (табл. 2.4), а також додаткове обладнання:

Таблиця 2.4

Номінальні дані перетворювача частоти сери АЛТИВАР 930

Тип ПЧ	АТВ930Н075N4
Номінальна напруга $U_{ПЧ}$, В	380-480
Максимальний вихідний струм в усталеному режимі (при 380 В), А	2,3
Максимальний вихідний струм протягом 60 с, А	3,5
Вхідний мережений струм, А	3,7
Повна потужність (при 380 В), кВА	2,4
Перевантажувальна здатність за моментом 60 с (2 с), %	150 (180)

Перелічимо основні функції ПЧ АЛТИВАР 930 для використання в електроприводі установки відцентрового лиття:

- керування гальмом;
- задатчик (тип кривої розгону та гальмування);
- різні способи зупинки;
- оптимізація регулятора частоти;
- попередньо задані швидкості;
- попереднє намагнічування;
- векторне керування у замкненій / розімкненій системі та інш.

Підп. і дата	
Інв. № дубл.	
Зам. Інв. №	
Підп. і дата	
Інв. № подл.	

					ЕП.ПД.18.14.ПЗ	Арк
Зм.	Арк..	№ докум.	Підп.	Дата		38

3 ДОСЛІДЖЕННЯ ДИНАМІКИ ЕЛЕКТРОПРИВОДА

У даному розділі проекту досліджується динаміка системи автоматичного регулювання швидкості електроприводу (САР) в характерних для даного електроприводу режимах роботи. Метою досліджень є перевірка якості перехідних процесів. Для реалізації математичної моделі САР використовується математичний пакет MATLAB, додаток Simulink.

Позиційний електропривод повороту сонячної панелі працює в імпульсному режимі. Він відпрацьовує маленькі завдання на поворот і тому завжди працює в режимі малих переміщень. В такому разі краще використати пропорційний регулятор положення.

Модель САР положення представлена на рис. 3.1. Вона складається з підсистем **AD, Control System**.

Підсистема **AD** реалізує модель асинхронного двигуна в системі координат, орієнтованій за вектором потокозчеплення ротора і в розгорнутому вигляді представлена на рис. 3.2.

Підсистема **Control System** містить в собі регулятори струму, швидкості та потокозчеплення. Також в ній реалізовані ланки, що описують перетворювач частоти і датчики регульованих координат. Модель системи представлена на рис. 3.3

Розгорнуті схеми блоків регуляторів представлені на рис. 3.4-3.7. Регулятор швидкості - на рис. 3.4, струму - на рис. 3.5, потокозчеплення - на рис. 3.6 і положення - на рис. 3.7 відповідно.

При моделюванні досліджувалися режими малих переміщень, відповідно до робочого циклу. Робочий режим складається з серії імпульсів завдання положення, які відповідають новій позиції сонця.

Підп. і дата	
Інв. № дубл.	
Зам. Інв. №	
Підп. і дата	
Інв. № подл.	

					ЕП.ПД.18.14.ПЗ	Арк
Зм.	Арк..	№ докум.	Підп.	Дата		39

Інв. № подл.	Підп. і дата	Зам. Інв. №	Інв. № дубл.	Підп. і дата
Зм.	Арк..	№ докум.	Підп.	Дата

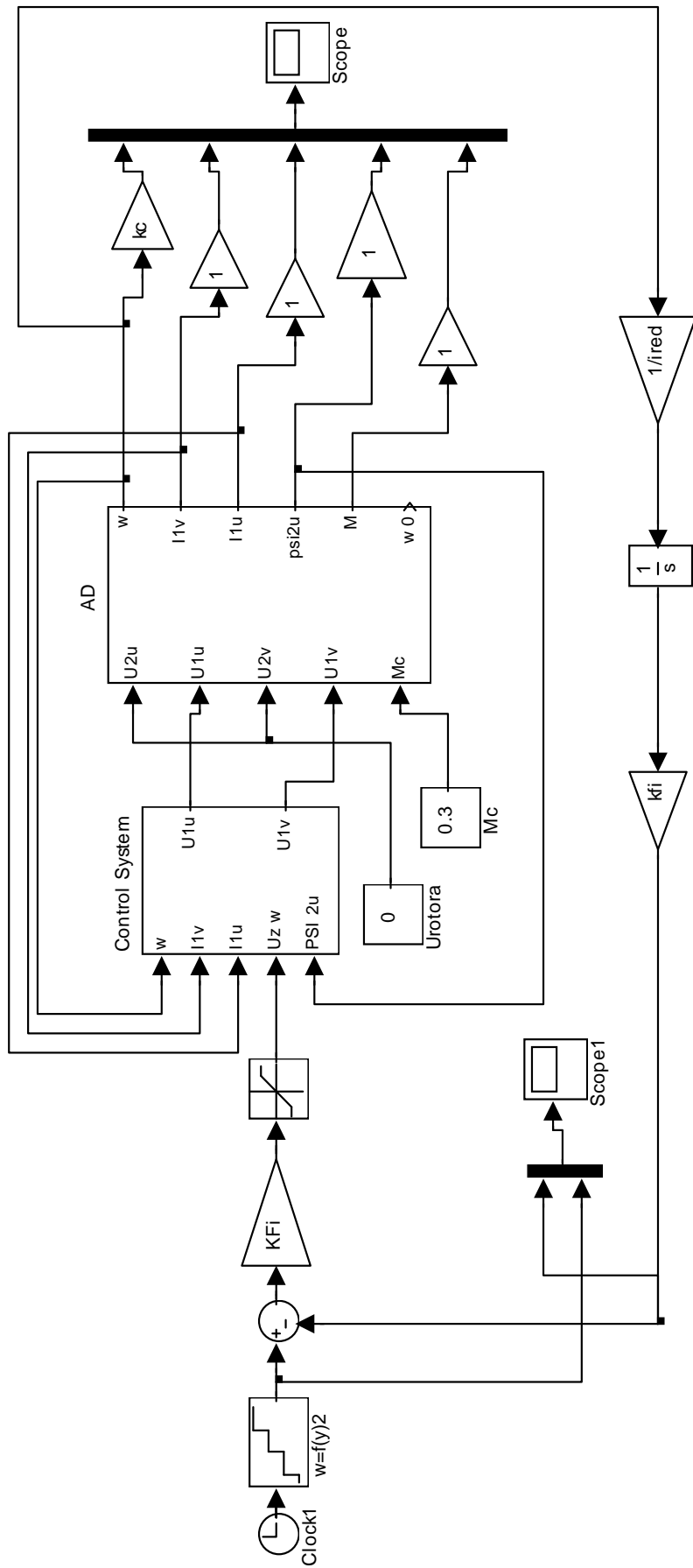


Рисунок 3.1 – Схема моделі САР положення в пакеті МАТЛІАБ

Інв. № подл.	Підп. і дата	Зам. Інв. №	Інв. № дубл.	Підп. і дата
Зм.	Арк..	№ докум.	Підп.	Дата

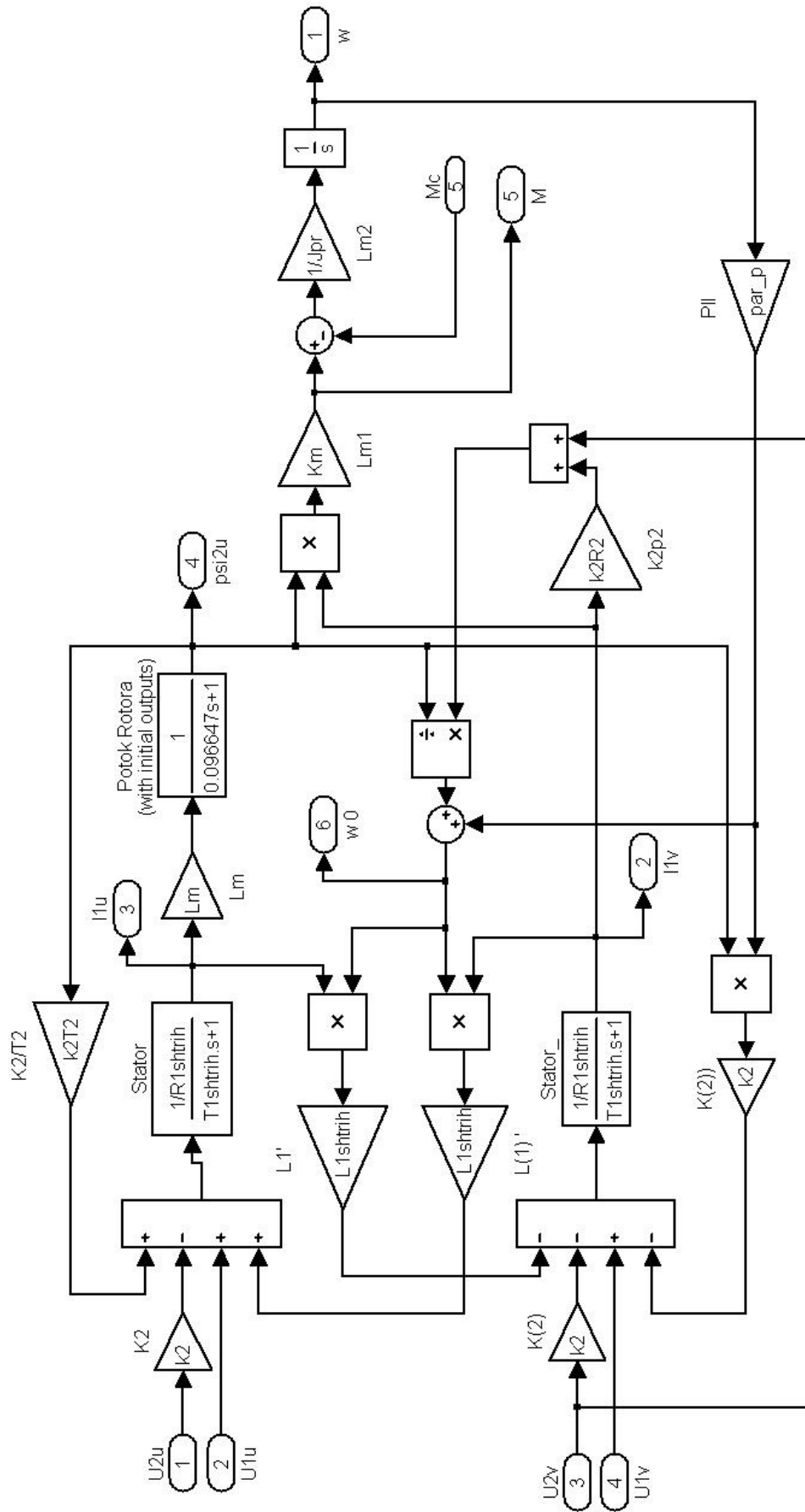


Рисунок 3.2 – Схема моделі асинхронного двигуна в пакеті МАТЛАБ. Підсистема АД.

Інв. № подл.	Підп. і дата	Зам. Інв. №	Інв. № дубл.	Підп. і дата
Зм.	Арк..	№ докум.	Підп.	Дата

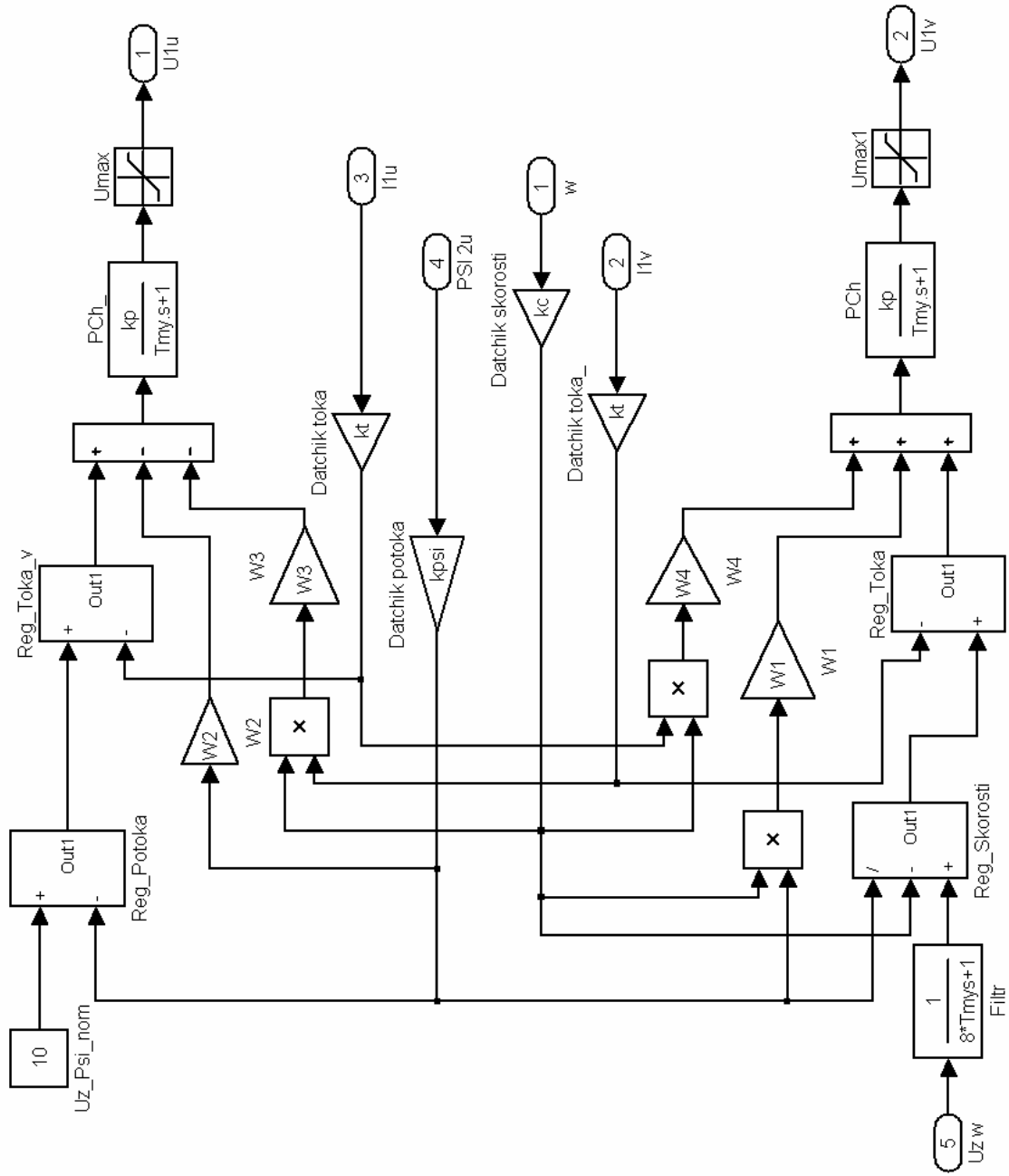


Рисунок 3.3 – Схема моделі САР швидкості в пакеті МАТЛАБ. Підсистема Control System.

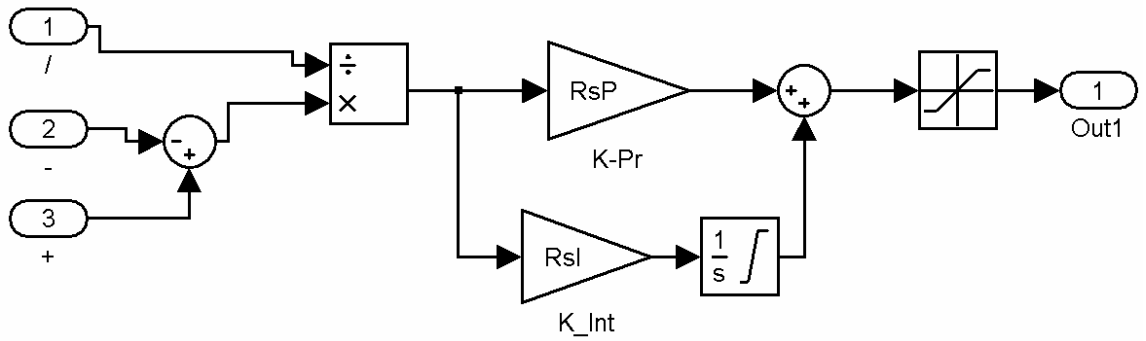


Рисунок 3.4 – Модель регулятора швидкості

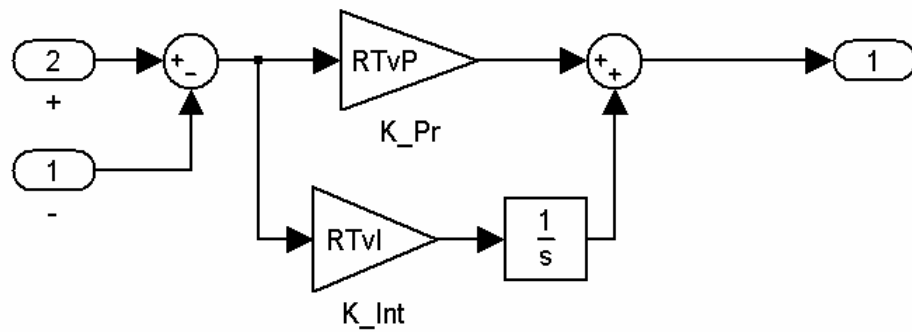


Рисунок 3.5 – Модель регулятора струму

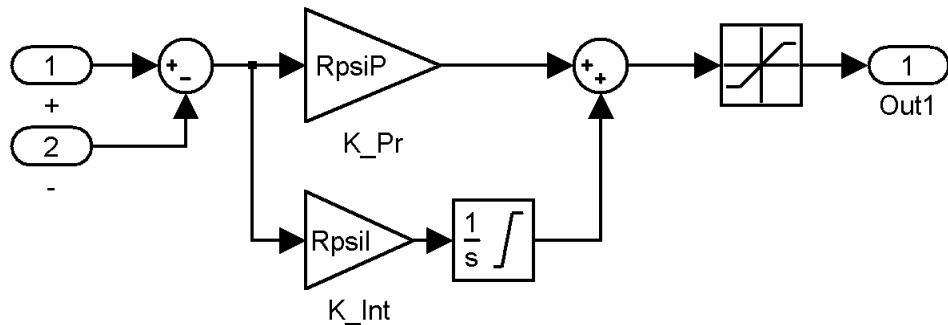


Рисунок 3.6 – Модель регулятора потокозчеплення

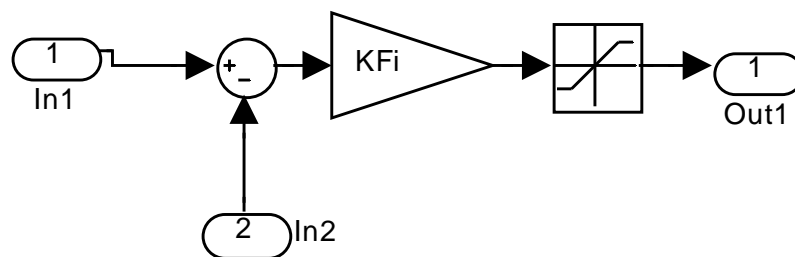


Рисунок 3.7 – Модель регулятора положення

Підп. і дата	
Інв. № дубл.	
Зам. Інв. №	
Підп. і дата	
Інв. № подл.	

Зм.	Арк..	№ докум.	Підп.	Дата
-----	-------	----------	-------	------

ЕП.ПД.18.14.ПЗ

Результати моделювання роботи позиційного електроприводу представлені на рис. 3.8., рис. 3.9 та рис. 3.10. На графіках представлені сигнали швидкості двигуна ω , моменту двигуна Md , і положення виконавчого органу Fi .

На початковому етапі роботи здійснюється намагнічування двигуна. САР відпрацьовує завдання на номінальне потокозчеплення ротора. Після встановлення потокозчеплення подається завдання на становлення панелі в першу позицію по відношенню до сонця. Момент статичного навантаження на двигуні майже відсутній (див. розрахунки).

На рис.3.8 можна побачити, що система точно відпрацьовує завдання на положення. При відпрацюванні положення швидкість не встигає досягти усталеного значення. Момент при цьому не перевищує двох номіналів. Весь процес переходу до нової позиції завершується за 3 секунди.

Якість перехідних процесів відповідає прийнятим раніше критеріям оптимізації.

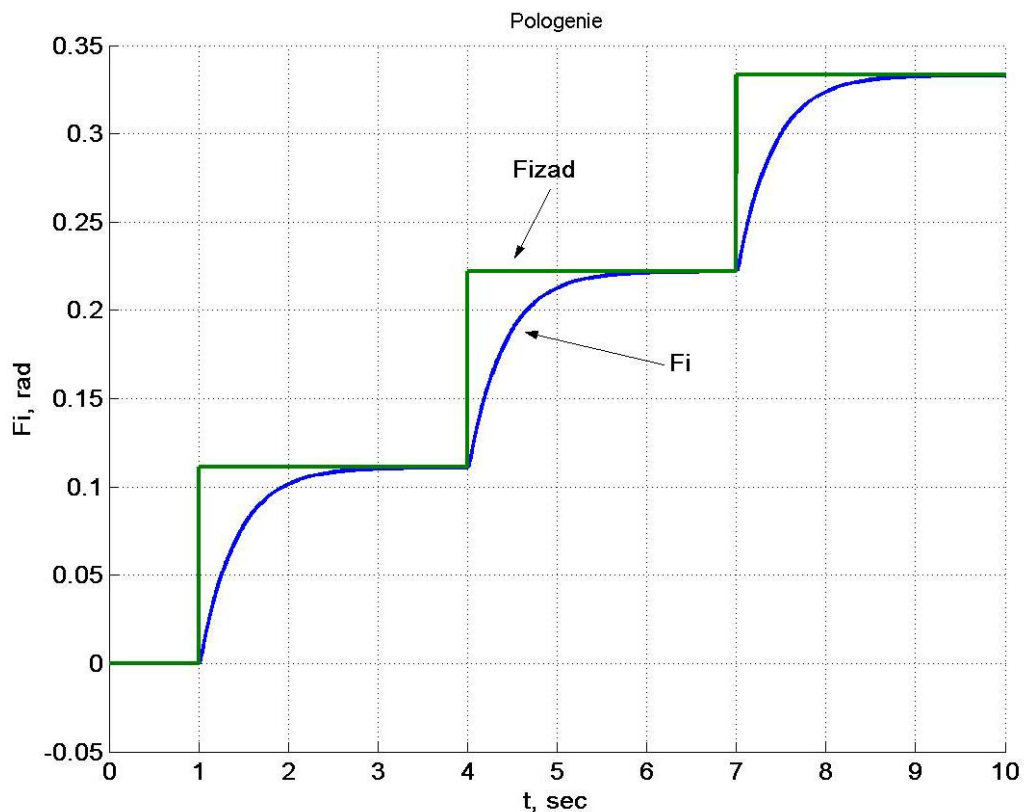


Рисунок 3.8 – Графіки відпрацювання положення

Підп. і дата	
Інв. № дубл.	
Зам. Інв. №	
Підп. і дата	
Інв. № подл.	

Зм.	Арк..	№ докум.	Підп.	Дата
-----	-------	----------	-------	------

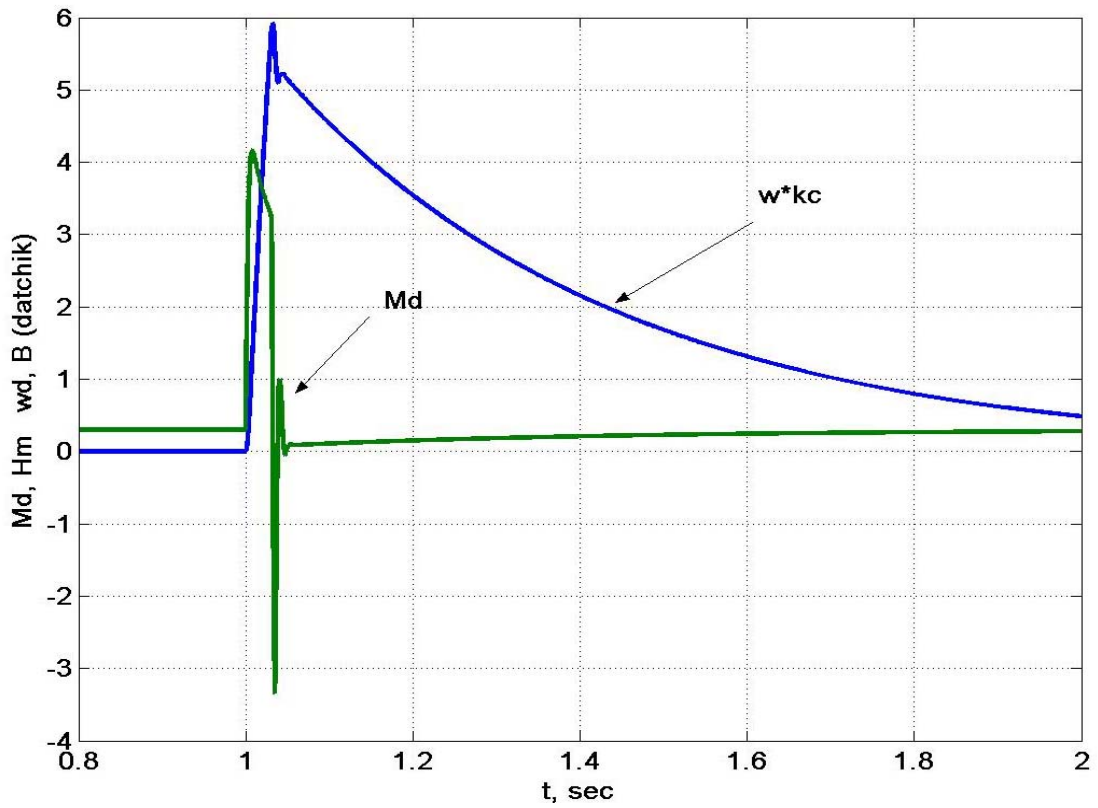


Рисунок 3.9 – Графіки моменту та швидкості двигуна при відпрацюванні положення

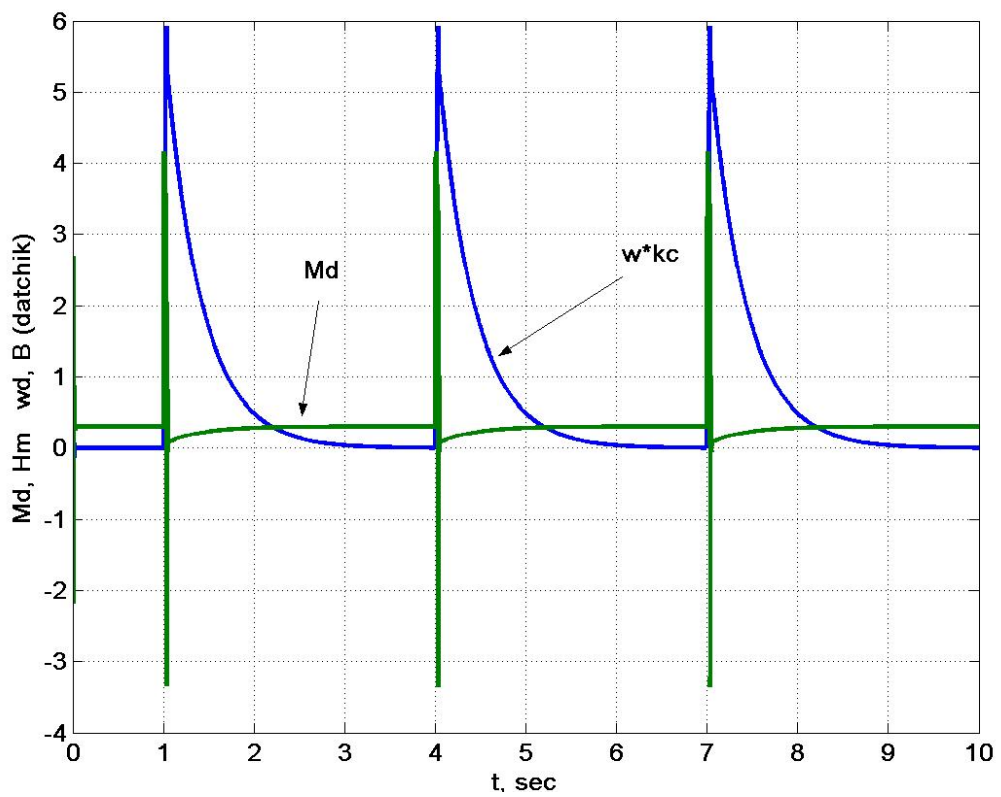


Рисунок 3.10 – Графіки моменту та швидкості двигуна при відпрацюванні послідовності завдань на положення

Підп. і дата	
Інв. № дубл.	
Зам. Інв. №	
Підп. і дата	
Інв. № подл.	

Зм.	Арк..	№ докум.	Підп.	Дата
-----	-------	----------	-------	------

ЕП.ПД.18.14.ПЗ

4 ОХОРОНА ПРАЦІ

4.1 Аналіз шкідливих та небезпечних виробничих факторів

В якості об'єкта для розробки інженерно-технічних заходів з охорони праці труда вибрана дахова сонячна електростанція. До шкідливих та небезпечних виробничих факторів при експлуатації дахових сонячних електростанцій можна віднести:

- робота на відкритому повітрі з змінними кліматичними умовами (жара, холод, дощ і т.і.);
- обмежений робочій простір в межах даху;
- виконання робіт на висоті;
- наявність електричної напруги та металоконструкцій, що можуть опинитися під напругою.

Дахову сонячну електростанцію за безпекою враження електричним струмом відповідно ПУЕ можна віднести до об'єктів з підвищеною безпекою.

4.2 Інженерно-технічні заходи з охорони праці

Всі роботи, пов'язані з розбудовою та експлуатацією дахових сонячних електростанцій, повинні виконуватись:

- при наявності відповідних зареєстрованих проектних архітектурно-будівельних рішень;
- при наявності дозволів на виконання будівельних робіт і підключення до необхідних комунікацій;
- робітниками, які мають профільну підготовку, пройшли медичний огляд, навчання з техніки безпеки, пожежної безпеки і мають відповідні діючі посвідчення.

Підп. і дата	
Інв. № дубл.	
Зам. Інв. №	
Підп. і дата	
Інв. № подл.	

					ЕП.ПД.18.14.ПЗ	Арк
Зм.	Арк..	№ докум.	Підп.	Дата		46

Всі будівельні роботи виконуються не менше ніж двома робітниками. Під час роботи робітники повинні використовувати спеціальний захисний одяг, взуття, каски та окуляри.

Доставка будівельних матеріалів та інструменту на дах повинна здійснюватись спеціальною технікою або спеціально обладнаними пристроями.

При відсутності таких використовувати перевірені канати та мотузки. Перед переміщенням матеріалів необхідно впевнитись у надійності кріплень.

Забороняється переміщувати інструмент та матеріали на дах закиданням на висоту. Для запобігання нещасним випадкам при скиданні матеріалів, або випадковому падінні з даху, прилегла територія повинна бути огорожена, встановлені захисті навіси і обов'язково присутній спостерігач.

Переміщення робітників на дах і з даху повинно здійснюватись за допомогою перевірених технічних засобів у суворій послідовності з використанням всіх правил безпеки.

Забороняється виконання робіт робітниками, які знаходяться у стані алкогольного або наркотичного сп'яніння.

При роботі у жаркі пори року і суху сонячну погоду для уникнення сонячних ударів, опіків робітники повинні користуватись головними уборами, спецодягом з довгим рукавом та притримуватись питного режиму.

Робітники повинні притримуватись правил користування ручним допоміжним інструментом.

При роботі на висоті робітники повинні використовувати захисний монтажний пояс для усунення випадкових падінь з висоти.

Облаштування та експлуатація елементів сонячних дахових електростанцій повинна здійснюватись у відповідності до Правил облаштування електроустановок та правил технічної та безпечної експлуатації електроустановок споживачів.

Підп. і дата	
Інв. № дубл.	
Зам. Інв. №	
Підп. і дата	
Інв. № подл.	

					ЕП.ПД.18.14.ПЗ	Арк
Зм.	Арк..	№ докум.	Підп.	Дата		47

Як правило дахові сонячні електростанції виконуються на вихідну напругу 220/380 В змінного струму. Тому обслуговуючий персонал повинен мати групу допуску не нижче III. Він повинен знати улаштування електроустановок, які обслуговує, і дотримуватись діючих правил експлуатації електроустановок та техніки безпеки.

Електрообладнання (вимикачі, перетворювачі і т.і.) повинно розташовуватись у металевих шафах з необхідним ступенем захисту, як правило не нижче IP54.

Всі шафи повинні бути обов'язково заземлені.

На шафах повинна бути індикація наявності напруги у шафі та індикація стану обладнання.

Інструмент, яким користується обслуговуючий персонал, повинен бути перевіреном на цілісність ізоляції.

Дахи, на яких розташовані сонячні електростанції повинні бути об'єднані захистом від блискавок.

При виконанні робіт у робітників повинні бути засоби первинної допомоги, аптечки. Робітники повинні вміти користуватись засобами первинної допомоги.

4.3 Розрахунок захисного заземлення

Мета розрахунку – визначити необхідну кількість елементів для встановлення захисного заземлення.

Вихідні дані для розрахунку: матеріал горизонтального заземлювача – стальна смуга 20×4 мм (ширина × товщина), вертикальний заземлювач – стержень діаметром 24 мм, довжина стрижня – 1,5 м. Заземлювач встановлюється в одношаровий ґрунт – чорнозем.

Підп. і дата	
Інв. № дубл.	
Зам. Інв. №	
Підп. і дата	
Інв. № подл.	

					ЕП.ПД.18.14.ПЗ	Арк
Зм.	Арк..	№ докум.	Підп.	Дата		48

Опір розтіканню струму одного вертикального заземлювача визначимо за виразом:

$$R_0 = \frac{\rho_{\text{екв}}}{2\pi \cdot L} \left(\ln\left(\frac{2L}{d}\right) + 0,5 \ln\left(\frac{4T + L}{4T - L}\right) \right),$$

де: $d = 24$ мм, діаметр стержня;

$\rho_{\text{екв}} = 50$ Ом*м – еквівалентний питомий опір чорнозему;

$L = 1,5$ м – довжина стержня;

T – відстань від поверхні землі до середини заземлювача:

$$T = \frac{L}{2} + t = \frac{1,5}{2} + 0,7 = 1,45 \text{ м}$$

де: $t = 0,7$ м – заглиблення вертикального заземлювача.

$$R_0 = \frac{50}{2\pi \cdot 1,5} \left(\ln\left(\frac{2 \cdot 1,5}{0,024}\right) + 0,5 \ln\left(\frac{4 \cdot 1,45 + 1}{4 \cdot 1,45 - 1}\right) \right) = 26,52 \text{ Ом}$$

Необхідна кількість стержнів заземлення без урахування горизонтального заземлення:

$$n_0 = \frac{R_0 \cdot \psi}{R_H} = \frac{26,52 \cdot 1,5}{30} = 1,32 \cong 2,$$

де $\psi = 1,5$ – сезонний кліматичний коефіцієнт опору ґрунту;

$R_H = 30$ Ом – нормований опір розтіканню струму заземлюючого пристрою.

Стержні розташовані на відстані 1 м один від одного.

Опір розтіканню струму горизонтального заземлювача дорівнює:

$$R_{\Gamma} = 0,366 \left(\frac{\rho_{\text{екв}} \cdot \psi}{L_{\Gamma} \cdot \eta_{\Gamma}} \right) \lg\left(\frac{2L_{\Gamma}^2}{bt}\right),$$

$$R_{\Gamma} = 0,366 \left(\frac{50 \cdot 1,5}{1 \cdot 0,77} \right) \lg\left(\frac{2 \cdot 1^2}{0,02 \cdot 0,7}\right) = 76,65 \text{ Ом},$$

де: $b = 0,02$ м – ширина горизонтального заземлювача;

Підп. і дата	
Інв. № дубл.	
Зам. Інв. №	
Підп. і дата	
Інв. № подл.	

					ЕП.ПД.18.14.ПЗ	Арк
Зм.	Арк..	№ докум.	Підп.	Дата		49

$L_{\Gamma} = 1$ м – довжина горизонтального заземлювача, з'єднуючого вертикальні стержні;

$\eta_I = 0,77$ – коефіцієнт використання вертикальних заземлювачів.

Визначимо опір вертикального заземлювача з урахуванням опору розтіканню горизонтального заземлювача:

$$R_B = \frac{R_H R_{\Gamma}}{R_{\Gamma} - R_H} = \frac{76,65 \cdot 30}{76,65 - 30} = 49,3 \text{ Ом}$$

Повна кількість вертикальних заземлювачів:

$$n_B = \frac{R_0}{R_B \eta_B} = \frac{26,52}{49,3 \cdot 0,86} = 0,63 \cong 1$$

Висновок. Згідно з розрахунком для підвищення надійності та зменшення опору заземлюючого пристрою встановлюємо заземлювач, що складається з двох вертикальних стержнів та горизонтальної стрічки, що з'єднує стержні.

4.4 Пожежна профілактика

Дахова сонячна електростанція повинна бути облаштована первинними засобами пожежегасіння – ящиками з сухим піском та ручними вуглекислотними вогнегасниками типів ОУ-2, ОУ-5, ОУ-8. Зазначені типи вогнегасників використовуються для гасіння невеликих вогнищ всіх видів спалахів.

Засоби пожежегасіння повинні знаходитись у захищеному легкодоступному місці.

Обслуговуючий персонал повинен вміти користуватись засобами пожежегасіння та знати план оперативних дій при виникненні пожежі.

4.5 Безпека у надзвичайних ситуаціях

Розглянемо наступну ситуацію. Під час виконання робіт з монтажу дахової сонячної електростанції сталося падіння робітника з висоти.

Якщо внизу немає людей, інші робітники повинні терміново спуститися до низу. При цьому вони повинні користуватися всіма правилами безпеки і не

Підп. і дата	
Інв. № дубл.	
Зам. Інв. №	
Підп. і дата	
Інв. № подл.	

					ЕП.ПД.18.14.ПЗ	Арк
Зм.	Арк..	№ докум.	Підп.	Дата		50

допустити свого падіння або травмування і бути готовими оказати першу невідкладну допомогу.

Необхідно зберігати самовладання і не панікувати.

Спершу необхідно оцінити стан потерпілого, виявити можливі травми, переломи, струси органів.

У разі виявлення серйозних пошкоджень забезпечити нерухомий стан потерпілого і викликати швидку допомогу.

При необхідності оказати невідкладну первинну допомогу: накласти шину при переломах, зупинити кровотечу повернути до тями, штучне дихання.

По можливості, до прибуття швидкої допомоги, забезпечити комфортні умови перебування потерпілого – встановити навіс, підкласти щось під тіло, забезпечити водою.

Необхідно вести постійні спостереження за станом потерпілого і фіксувати зміни, які відбуваються

При можливості потерпілого пересуватись надати йому супроводжуючого та транспортний засіб і обов'язково направити у найближчий медичний заклад для проведення огляду і визначення стану.

Після надання первинної допомоги потерпілому і направлення його до лікарні необхідно провести розслідування причин виникнення нещасного випадку. Провести позачерговий інструктаж з техніки безпеки і ознайомити всіх робітників з причинами виникнення нещасного випадку.

Підп. і дата	
Інв. № дубл.	
Зам. Інв. №	
Підп. і дата	
Інв. № подл.	

					ЕП.ПД.18.14.ПЗ	Арк
Зм.	Арк..	№ докум.	Підп.	Дата		51

5 ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ

Метою даного розділу є визначення капітальних та експлуатаційних витрат на впровадження проектного варіанту електромеханічної системи орієнтування сонячних панелей.

Об'єктом проектування є система позиційного електропривода постійного струму.

Розрахунки в спеціальній частині проекту показали доцільність використання сучасної системи електропривода широтно-імпульсний перетворювач – двигун постійного струму (ШП-ДПС).

Використання такої системи електропривода дозволить більш точно орієнтувати сонячні панелі за сонцем. Таким чином підвищується кількість згенерованої ними електроенергії.

5.1 Розрахунок капітальних витрат

Капітальні витрати – це грошові ресурси, призначені для створення та придбання основних фондів та нематеріальних активів, які підлягають амортизації.

Капітальні витрати на впровадження проектного варіанта визначаються наступним чином:

$$K_{np} = K_{об} (\sum C_i) + K_{тр} + K_{мн} + K_{пр}$$

де $K_{об}$ – вартість придбаного обладнання, грн;

$K_{тр}$ – транспортно - заготівельні та складські витрати, грн;

$K_{мн}$ – витрати на монтаж та наладку обладнання, грн;

$K_{пр}$ – інші одноразові вкладення грошей.

Транспортно-заготівельні витрати включені у вартість електрообладнання, так як фірма – продавець здійснює його доставку відповідно до договору.

Монтажно-налагоджувальні роботи здійснюються спеціалізованим монтажно-налагоджувальним персоналом організації-постачальника обладнання і розраховуються відповідно до формули:

Підп. і дата	
Інв. № дубл.	
Зам. Інв. №	
Підп. і дата	
Інв. № подл.	

					ЕП.ПД.18.14.ПЗ	Арк
Зм.	Арк..	№ докум.	Підп.	Дата		52

$$Z_{m(n)} = \sum (C_i \times a_i \times t_i) \times K_d \times K_{cm} \times K_{np}$$

де $i = 4$ – розряд робочих, що здійснюють монтажно – налагоджувальні роботи;

$C_i = 2$ чол. – чисельність робочих 4-го розряду задіяних у монтажі;

$a_i = 30,5$ грн. – годинна тарифна ставка робочих (електромонтер 4-го розряду);

$t_i = 40$ год. – час на виконання монтажу та наладки;

$K_d = 1,15$ – коефіцієнт доплат;

$K_{cm} = 1,22$ – коефіцієнт, що враховує єдиний соціальний внесок;

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

Вартість монтажних робіт:

$$Z_m = (2 \times 40 \times 30,5) \times 1,15 \times 1,22 \times 1,05 = 3594,5 \text{ грн.}$$

Оскільки сонячні панелі і допоміжне обладнання встановлюються вперше на місце де раніше нічого не розташовувалось то роботи з демонтажу старого обладнання відсутні $Z_m = 0$ грн.

Разом:

$$Z_{m(n)} = Z_n + Z_m = 3594,5 + 0 = 3594,5 \text{ грн.}$$

Проектні капіталовкладення в обладнання та монтаж-налагоджувальні роботи прийняті на основі цін на електрообладнання фірм постачальників сонячних панелей та допоміжного обладнання [12, 13, 14] терміном на 01.04.18 року.

Розрахунок капітальних витрат подамо в вигляді таблиці капітальних витрат за розділами (табл. 5.1).

Підп. і дата	
Інв. № дубл.	
Зам. Інв. №	
Підп. і дата	
Інв. № подл.	

					ЕП.ПД.18.14.ПЗ	Арк
Зм.	Арк..	№ докум.	Підп.	Дата		53

Таблиця 5.1

Зведення капітальних витрат

№ п/п	Найменування розділів	Проектний варіант, грн.
1.	Електрообладнання: Двигун змінного струму з редуктором (до 500 Вт) Перетворювач частоти широтно-імпульсний Вимикач автоматичний Блок живлення постійного струму 220/24 (36 В) Енкодер (вимірювання положення) Шафа металева (400*300*200) Разом	4250,0 2918,0 416,0 467,0 4020,0 620,0 12391,0
2.	Витрати на монтаж та наладку	3594,5
3.	Демонтажні роботи	0,0
4	Ліквідаційна вартість базового обладнання	
	РАЗОМ	15985,5

Таким чином, капітальні витрати на впровадження проектного варіанту складають:

$$K_{np} = 12391,0 + 3594,5 = 15985,5 \text{ грн.}$$

5.2 Розрахунок експлуатаційних витрат

Експлуатаційні витрати – це поточні витрати на експлуатацію та обслуговування об'єкту проектування за певний період, виражені в грошовій формі.

До основних статей експлуатаційних витрат за електротехнічним обладнанням відносяться :

- амортизаційні відрахування (C_a);
- заробітна плата обслуговуючого персоналу (C_3);
- відрахування на соціальні заходи від заробітної плати (C_c);

Підп. і дата	
Інв. № дубл.	
Зам. Інв. №	
Підп. і дата	
Інв. № подл.	

Зм.	Арк..	№ докум.	Підп.	Дата	ЕП.ПД.18.14.ПЗ	Арк
						54

- витрати на технічне обслуговування та поточний ремонт обладнання (C_m);
- вартість електроенергії, спожитої об'єктом проектування ($C_э$).

Таким чином, річні експлуатаційні витрати складуть:

$$C = C_a + C_з + C_c + C_m + C_э, \text{ грн.}$$

Так як в процесі впровадження проектного варіанту не планується змінювати чисельність обслуговуючого персоналу, то розрахунки річного фонду заробітної плати та відрахувань на соціальні заходи не проводяться.

$$C = C_a + C_m + C_э, \text{ грн.}$$

Розрахунок експлуатаційних витрат ведеться за проектним варіантом.

5.2.1 Розрахунок амортизаційних відрахувань

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

Обладнання, що встановлюється, відноситься до 4 групи основних фондів – машини та устаткування з мінімальним строком експлуатації 5 років.

Відсоток амортизаційних відрахувань визначаємо прямолінійним методом – пропорційним розподілом суми витрат на весь строк служби:

$$H_a = \frac{1}{T_n} \times 100\% = \frac{1}{5} \times 100\% = 20\%,$$

Оскільки, проектний варіант розглядається для впровадження, ліквідаційна вартість основних засобів дорівнює 0,0 грн.

$$C_a = K_{np} * H_a$$

$$C_a = 15985,5 \times 20\% = 3197,1 \text{ грн}$$

Підп. і дата	
Інв. № дубл.	
Зам. Інв. №	
Підп. і дата	
Інв. № подл.	

					ЕП.ПД.18.14.ПЗ	Арк
Зм.	Арк..	№ докум.	Підп.	Дата		55

5.2.2 Розрахунок вартості спожитої електроенергії

Кількість спожитої за рік електроенергії в проектному варіанті розраховується за формулою:

$$W_{\Sigma} = N_y \times \Phi_{\Sigma} \times K_{инт} / КПД$$

$N_y = 0,5$ кВт – встановлена потужність обладнання в проектному варіанті;

$K_{инт} = 0,8$ – інтегральний коефіцієнт використання потужності;

$КПД = 0,92$ – коефіцієнт корисної дії електропривода в проектному варіанті.

Φ_{Σ} – річний фонд робочого часу визначаємо за формулою:

$$\Phi_{\Sigma} = (D_k - D_{np} - D_v) \times T_{cm}, \text{ год.},$$

$$\Phi_{\Sigma} = (365 - 103 - 12) \times 8 = 2000 \text{ год}$$

де D_k – кількість календарних днів в році, 365 днів;

D_{np} – кількість святкових днів в році, 12 днів;

D_v – кількість вихідних днів в році, 103 дні;

T_{cm} – середній номінальний час роботи обладнання за рік, 8 год., робота обладнання автономна здійснюється цілодобово у режимі короткочасного вмикання та очікування.

$$W_{\Sigma n} = 0,5 \times 2000 \times 0,8 / 0,92 = 869,6 \text{ (кВт·рік)}$$

Вартість електроенергії, спожитої об'єктом на потязі року, визначається виходячи з його встановленої потужності та річного фонду робочого часу об'єкта за формулою:

$$C_{\Sigma} = W_{\Sigma} \times Ц_{\Sigma},$$

Вартість електроенергії, спожитої об'єктом на потязі року:

$$C_{\Sigma n} = 869,6 \times 1,86 \times 1,2 = 1940,9 \text{ грн}$$

Підп. і дата	
Інв. № дубл.	
Зам. Інв. №	
Підп. і дата	
Інв. № подл.	

Зм.	Арк..	№ докум.	Підп.	Дата

ЕП.ПД.18.14.ПЗ

Арк

56

де C_{Σ} - тариф 1 кВт*год. електроенергії для споживачів 1-го класу 1-ї групи, за даними «Дніпрообленерго» станом на 01.05.2018 становить 1,86 грн/кВт*год.

5.2.3 Витрати на технічне обслуговування та поточний ремонт

Річні витрати на технічне обслуговування та поточний ремонт електротехнічного обладнання складають витрати на матеріали, запасні частини, заробітну плату ремонтним робочим и т.д. Розраховуються за формулою:

$$C_m = \sum_{i=1}^n \left(h_i \cdot t_{1i} \cdot m_i \cdot R_{\Sigma i} + \frac{S_i \cdot \Pi_i}{T_i} \cdot T_{\phi} \right), \text{ грн,}$$

де n – число приладів, що підлягають ремонту;

- $h = 30,5$ грн/год., – годинна тарифна ставка робочих (електромонтер четвертого розряду), виконуючих ремонт;
- t_1 – трудомісткість одного ремонту при категорії складності ремонту в одну ремонтну одиницю в залежності от виду ремонту, год/од;
- m – кількість ремонтів за рік;
- $R_{\Sigma} = 2,5$ – сумарна категорія складності ремонту в залежності від виду електрообладнання;
- S – вартість однотипних замінюваних елементів, грн;
- Π – кількість однотипних замінюваних елементів;
- T – середній термін служби деталей даного типу, год;
- $T_{\phi} = 2000$ ч, – кількість годин роботи електрообладнання за рік.

В якості запасних частин і матеріалів виберемо контактор в кількості 1 шт. та швидкодіючі запобіжники кількістю 3 шт./набір.

Підп. і дата	
Інв. № дубл.	
Зам. Інв. №	
Підп. і дата	
Інв. № подл.	

					ЕП.ПД.18.14.ПЗ	Арк
Зм.	Арк..	№ докум.	Підп.	Дата		57

Витрати на технічне обслуговування и ремонт

	h	t1	m	R	S1	П1	T1	S2	П2	T2	Tф	Ст1	Ст2	Ст
Проектний	30,5	2	1.5	2.5	228,75	1	1000	267,8	1	1000	2000	457,5	535,6	993,1

Таким чином, річні експлуатаційні витрати для проектного варіанта складуть:

$$C_{np} = 3197,1 + 1940,9 + 993,1 = 6131,1 \text{ грн.}$$

За результатами проведених розрахунків визначена сума капітальних та експлуатаційних витрат. Сума капітальних затрат склала 15985,5 грн. Сума експлуатаційних витрат склала 6131,1 грн. Основну частину в експлуатаційних витратах складають витрати, пов'язані з оплатою електроенергії..

Інв. № подл.	Підп. і дата	Зам. Інв. №	Інв. № дубл.	Підп. і дата

Зм.	Арк..	№ докум.	Підп.	Дата

ЕП.ПД.18.14.ПЗ

ВИСНОВКИ

1. Проведено розрахунок потужності і вибір двигуна електроприводу системи регулювання положення сонячних батарей. Основним критерієм вибору двигуна є величина динамічного моменту, який він може розвивати для розгону і найменша швидкість обертання.

2. Запропонована система векторного керування швидкістю електродвигуна. Виконані розрахунки регуляторів.

3. Для керування двигуном вибрано перетворювач частоти типу ATV930H07522N4.

4. Методами математичного моделювання проведено дослідження роботи запропонованої системи керування електроприводом, які підтвердили її працездатність.

5. В розділі «Техніко-економічне обґрунтування» проведено розрахунок капітальних та експлуатаційних витрат.

6. В розділі «Охорона праці» виконано аналіз шкідливих виробничих факторів, запропоновані організаційно-технічні заходи з охорони праці. Виконано розрахунок штучного освітлення.

Підп. і дата	
Інв. № дубл.	
Зам. Інв. №	
Підп. і дата	
Інв. № подл.	

					ЕП.ПД.18.14.ПЗ	Арк
Зм.	Арк..	№ докум.	Підп.	Дата		59

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. ГОСТ 1451-77 Краны грузоподъемные. Нагрузка ветровая. Нормы и метод определения. – 13 с.
2. СНиП 2.01.07-85 Нагрузки и воздействия. – 72 с.
3. Казачковський М.М. Комплектні електроприводи: Навчальний посібник. – Дніпропетровськ: НГА України, 2003. – 225 с.
4. Башарин А.В., Новиков В.А., Соколовский Г.Г. Управление электроприводами. – Л.: Энергоиздат, 1982. – 392 с.
5. Справочник по электрическим машинам. В 2-х т./Под. ред. И.П. Копылова и В.К. Клокова - М: Энергоатомиздат, 1988. т.1. -655 с.; т.2. -496 с.
6. Справочник по автоматизированному электроприводу / Под ред. В.А. Елисеева и А.В. Шинянского. – М.: Энергоатомиздат, 1983. -616 с.
7. Асинхронные двигатели серии 4А: Справочник / А.Э. Кравчик, М.М. Шлаф, В.И. Афонин, Е.А. Соболенская. – М.: Энергоиздат, 1982. – 504 с.
8. Андреев В.П., Сабинин Ю.А. Основы электропривода. – М.-Л., Госэнергоиздат, 1963. – 772 с.
9. Ключев В.И. Теория электропривода: Учебник для вузов. – М.: Энергоатомиздат, 1985. – 560 с.
10. Колб Ант. А., Колб А.А. Теорія електроприводу: Навчальний посібник – Д., Національний гірничий університет, 2006. – 511 с.
11. www.autonics.com
12. www.transtecno.com.ua

Підп. і дата	
Інв. № дубл.	
Зам. Інв. №	
Підп. і дата	
Інв. № подл.	

					ЕП.ПД.18.14.ПЗ	Арк
Зм.	Арк..	№ докум.	Підп.	Дата		60