

Хмельницький національний університет
Факультет інженерії, транспорту та архітектури
Кафедра машин і апаратів, електромеханічних та енергетичних систем

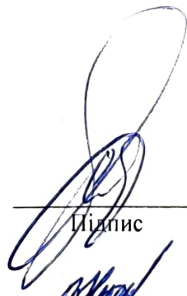
КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА МАГІСТРА

Розробка електроприводу енергогеліоустановки

Галузь знань 14 «Електрична інженерія»
Шифр, назва
Спеціальність 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»
Шифр, назва
Освітня програма «Електропобутова техніка»

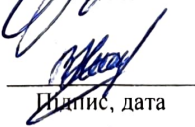
Шифр МРМА 23.00.00.000 ПЗ

Виконав студент 2 курсу
група ЕТм-22-1


Підпис

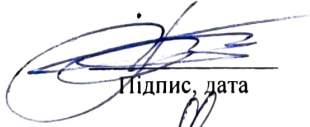
Я. І. Самчук
Ініціали, прізвище

Керівник


Підпис, дата

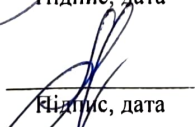
доц. В. С. Неймак
Ініціали, прізвище

Нормоконтролер


Підпис, дата

доц. Тимошук О. Г.
Ініціали, прізвище

До захисту допускаю:


Підпис, дата

проф. О. С. Поліщук
Ініціали, прізвище

Зав. кафедри МАЕЕС

24 12 2023 р.

Хмельницький 2023

ХМЕЛЬНИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет інженерії, транспорту та архітектури

Кафедра машин і апаратів, електромеханічних та енергетичних систем

Освітній рівень магістр

Галузь знань 14 Електрична інженерія

Шифр і назва

Спеціальність 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка

Шифр і назва

Освітня програма Електропобутова техніка

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри МАЕЕС

д.т.н., проф. Полищук О.С.

_____ .2023р.

ЗАВДАННЯ НА МАГІСТЕРСЬКУ КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

Самчук Ярослав Іванович

Прізвище, ім'я, по батькові студента

1. Тема роботи Розробка електроприводу енергогеліоустановки

керівник роботи Неймак Віталій Станіславович, к.т.н., доцент

Прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання

Затверджено наказом ректора університету від 15 08 2023 р. № 30

2. Строк подання студентом роботи на кафедру _____

3. Вихідні дані до роботи технічні характеристики енергогеліоустановок

4. Зміст пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити)

Вступ. 1. Огляд та аналіз існуючих технологічних та технічних рішень з тематики магістерської роботи. 2. Аналіз ефективності покрокового режиму автосупроводу Сонця. 3. Практична реалізація системи електропривода й автоматизації геліоустановки. Перелік джерел посилання.

5. Перелік графічного матеріалу (із зазначенням обов'язкових креслень)

1. Системи керування орієнтаційними приводами (ДО, А1). 2. Робота орієнтаційного приводу (ДТ, А1). 3. Електропривод енергетичної геліоустановки без концентрації випромінювання (ДП1, А1). 4. Дослідження втрат енергії фотоперетворювача енергетичних геліоустановок при переході від безперервного до крокового режиму (РР, А1). 5. Вузол керування, комутації й індикації (ЕЗ, А1). 6. Стабілізатор струму й напруги АБ (ЕЗ, А2). 7. Вузол автоматичної орієнтації сонячних батарей (ЕЗ, А1). 8. Енергетична

геліоустановка із вихідною встановленою потужністю 200 Вт (ДІД, АІД)
9. Результати експерименту (ДІД, АІД).

6. Консультанти розділів кваліфікаційної роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв

7. Дата видачі завдання _____

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

Назва етапів (розділів) кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітки
1. Огляд та аналіз існуючих технологічних та технічних рішень з тематики магістерської роботи	до 30.10.23р.	
2 Аналіз ефективності покрокового режиму автосупроводу Сонця.	до 10.11.23р.	
3. Практична реалізація системи електропривода й автоматики геліоустановки.	до 20.11.23р.	
4. Оформлення пояснювальної записки та графічного матеріалу	до 12.12.23р.	

Студент

Підпис

Я.І. Самчук
Ініціали, прізвище

Керівник роботи

Підпис

В.С. Неймак
Ініціали, прізвище

АНОТАЦІЯ

до магістерської роботи студента
спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка
та електромеханіка».

1. Прізвище, ім'я та по батькові Самчук Ярослав Іванович

2. Тема магістерської роботи Розробка електроприводу енергогеліоустановки

3. Прізвище, ініціали, вчена ступінь та звання опонента Ворошич Г.Ф. К.Т.Н

4. Об'єм магістерської роботи: креслень 8 арк., сторінок записки 75

5. У теперішній час питанням використання поновлюваних джерел енергії приділяється серйозна увага. Ці джерела енергії розглядаються як серйозне доповнення до традиційних. Для енергетичних геліоустановок найбільш важливими показниками є ККД перетворення сонячної енергії в електричну й вартість. Пробілом у всіх дослідженнях є відсутність методики розрахунків потужності двигуна для ГУ залежно від конкретної місцевості й конкретних розмірів фотоприймача. У ряді робіт потужність двигуна розраховується виходячи з вітрового моменту, який у свою чергу вважається пропорційним площі приймача й визначається перерахуванням експериментально обмірюваного вітрового моменту, що діє на аналогічні установки, наприклад, радіотелескопи. При цьому вітровий момент приймається пропорційним площі приймача. Метою роботи є поліпшення енергетичних показників, підвищення економічності, надійності й рівня автоматизації енергетичних геліоустановок наземного базування на основі теоретичної й практичної розробки їх електропривода. По питанню підвищення енергетичних показників і зниження електричних втрат в електроприводі є багато досліджень, але в цих роботах не враховуються особливості тихохідних приводів, що стежать В розрахунково-пояснювальній записці наведено всі необхідні розробки, а також розділи, що відповідають встановленим вимогам. В першому розділі проведено огляд та аналіз існуючих технічних та технологічних рішень з тематики магістерської роботи. В другому розділі здійснюється розробка конструкції електроприводу енергогеліоустановки. В третьому розділі здійснено практичну реалізацію системи електропривода й автоматики геліоустановки.

Підпис студента

" 23 " 12 2023 р.

РІШЕННЯ ЕК:

Протокол 153 від "29" "12" 2023 р.

Оцінка проекту ЕК добре 40/5

Рекомендації ЕК


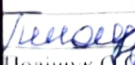
Особливі відмітки

Технічний секретар

" 29 " 12 2023 р.

ЗМІСТ

	Вступ	6
1	Огляд та аналіз існуючих технологічних та технічних рішень з тематики магістерської роботи	10
1.1	Класифікація систем керування орієнтаційними приводами	10
1.2	Огляд конструкцій опорно-поворотних пристроїв геліоустановок	21
1.3	Огляд електроприводів енергетичних геліоустановок	31
	Висновки до першого розділу	35
2	Розробка конструкції електроприводу енергогеліоустановки	37
2.1	Умови й режими роботи енергетичних геліоустановок	37
2.2	Функціональна схема електропривода енергетичної геліоустановки без концентрації випромінювання	38
2.3	Дослідження втрат енергії фотоперетворювача енергетичних геліоустановок при переході від безперервного до крокового режиму	41
	Висновки до другого розділу	49
3	Практична реалізація системи електропривода й автоматики геліоустановки	50
3.1	Вибір електродвигуна для електропривода геліоустановки, що проектується	50
3.2	Аналіз специфіки й розробка системи автоматики енергетичної геліоустановки	54
3.3	Розробка універсального модульного опорно-поворотного пристрою геліоустановки й датчика неузгодженості з розширеною пеленгаційною характеристикою	57

МРМА 23.00.00.000 ПЗ					
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата	
Виконав		Самчук Я.І.			Розробка електроприводу енергогеліоустановки
Перевір.		Неймак В.С.			
					Аркуш
					Аркушів
					м 4 75
Н.контр					ХНУ гр. ЕТм-22-1
Перевір		Поліщук С.С.			

1 ОГЛЯД ТА АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ТА ТЕХНІЧНИХ РІШЕНЬ З ТЕМАТИКИ МАГІСТЕРСЬКОЇ РОБОТИ

1.1 Класифікація систем керування орієнтаційними приводами

Основні ознаки, за якими класифікуються системи керування приводами, такі:

- Метод керування рухом
- Тип сигналів у блоці керування
- Кількість спільно керованих приводів
- Характер участі оператора в управлінні;
- Тип середовища програмування, метод програмування.

Для таких систем характерні всі ознаки, властиві класичним приводним системам. На рис. 1.1 показано приклад побудови системи орієнтації сонячних батарей із використанням програмованого механічного приводу від водяного годинника. [МРМА 23.00.00.000 ДО].



Рисунок 1 – Система зміни кута нахилу із застосуванням водяного годинника



Рисунок 1.3 – Сонячна електростанція в субтропічній зоні



Рисунок 1.4 – Сонячна електростанція помірної кліматичної зони



Рисунок 1.5 – Сонячна електростанція помірної кліматичної зони

Для більшості приводів позиціонування достатньо відносно невисокої точності наведення (± 12 градусів за дугою), а вихідна потужність має перебувати в межах не менше 5% від номінальної. Такі приводи зазвичай мають фіксовану швидкість. Потім вони змінюють напрямок і повертаються в точку сходу після того, як сонце зайде за горизонт.

Сьогодні багато компаній по всьому світу займаються виробництвом і постачанням систем перетворення сонячної енергії. Як приклад можна навести численні компанії, що працюють на світовому ринку: наприклад, Degerenergy (Німеччина), Victron energy (Нідерланди) і ЮСТ (Росія). Було продемонстровано кілька ефективних рішень для різних широтних зон. Одновісні системи стеження спрямовують свою вісь обертання паралельно осі обертання планети навколо світової осі. Двовісні системи стеження також відстежують сезонні зміни положення Сонця. Ці зміни пов'язані з нахилом земної осі щодо площини орбіти ($23,5^\circ$).

Усі сонячні електростанції великої потужності оснащені електроприводом (трекером), який стежить за положенням Сонця на небі. Широко поширені системи з однією віссю обертання, які відстежують тільки добовий рух сонця. Це дає змогу збільшити продуктивність електростанцій на 23 % порівняно з нерухомими модулями і на 32 % за використання двовісних систем спостереження [2]. За словами Дегера, система двовісної орієнтації збільшує вироблення електроенергії, особливо в ранкові та вечірні години. Графік погодинного розподілу виробітку показано на малюнку 1.6.

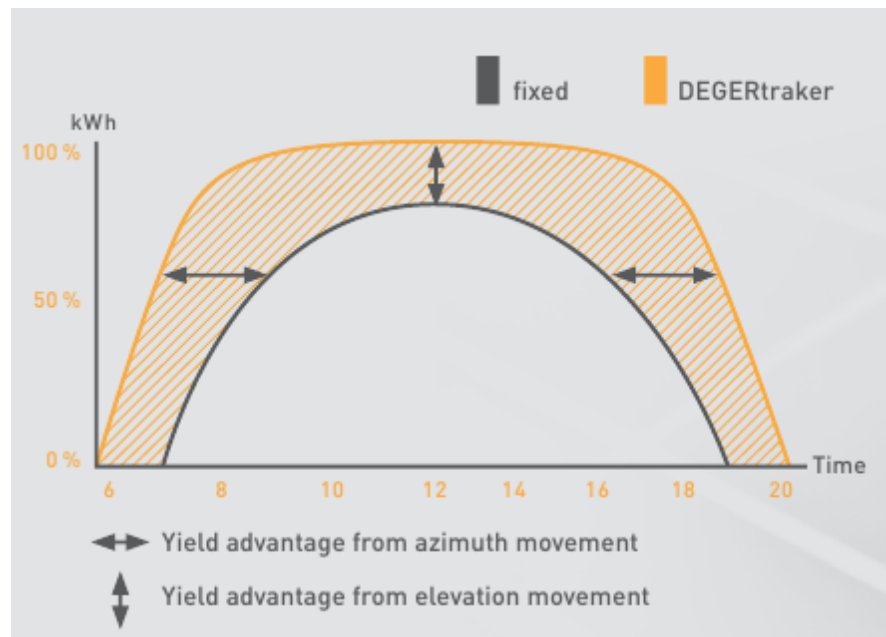


Рисунок 1.6 – Розподіл потужності протягом доби від фіксованого й рухливого фотоперетворювача

Виробники систем приділяють велику увагу датчикам положення сонця, оскільки вони необхідні для орієнтації в просторі. Моніторинг яскравих об'єктів здійснюється на основі вихідного сигналу датчика освітленості. Алгоритм допускає незначні відхилення (до 10 градусів) від точного положення об'єкта. Щоб система повернулася у вихідне положення, досить розташувати датчик освітленості напівсферично щодо джерела випромінювання так, щоб датчик або його частина були освітлені. Подальше наведення здійснюється контролером за заданим алгоритмом. Згідно з дослідженням [3], максимальна ефективність енергії, що генерується, відповідає інтервалу регулювання азимута в 30 хвилин (рис. 1.7).

Світлові датчики, що використовуються в системах моніторингу, можуть мати різні параметри світлочутливості. Для того щоб панель перетворювача сприймала максимальну кількість випромінювання, яке може бути перетворено, необхідний датчик освітленості, що відповідає спектральній чутливості фотоелектричного перетворювача сонячної батареї.

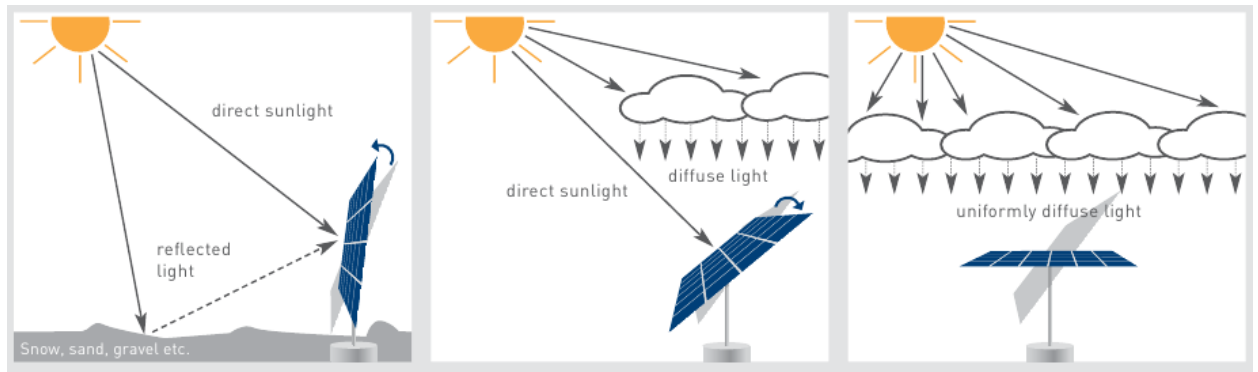


Рисунок 1.8 – Орієнтація модуля фотоперетворювача при різних умовах освітленості

Двовісні системи іноді можуть виконувати складніші функції, ніж просто відстеження положення світла. Наприклад, за допомогою мережевих інтерфейсів можна спрямувати панелі перетворювача на яскраве джерело світла, коли частина неба закрита хмарами, або перемістити панелі в безпечне положення в разі загрози шторму, граду або сильного снігопаду.

Провідні світові компанії продовжують вивчати нові технології виробництва перетворювачів сонячної енергії. Полімерні перетворювачі, які недорогі та прості у виготовленні, показують перспективність їх використання. Перевагою таких перетворювачів є можливість виготовлення тонкоплівкових, легких і гнучких модулів великої площі. Якщо стане можливим масове виробництво, цей тип перетворювачів може повністю витіснити кристалічні панелі зі світового ринку. Однак наразі кремнієві перетворювачі займають лідируючі позиції.

Нині кілька компаній лідирують у виробництві фотоперетворювальних модулів. Серед них такі компанії, які успішно конкурують на світовому ринку:

- Solar Harvest, компанія з виробництва "зеленої" енергії (Бірмінгем, Велика Британія),

- Solar World (Бонн, Німеччина),
- Canadian Solar (Онтаріо, Канада),
- Parlite Solar (Шанхай, Китай).

Модулі від SolarWorld (Бонн, Німеччина) посідають перше місце за максимальним ККД, перетворюючи 16,04% світлової енергії в електричну. Параметри підключення цих модулів показано на малюнку 1.9, а вольт-амперні характеристики за різної освітленості та температури - на малюнку 1.10.

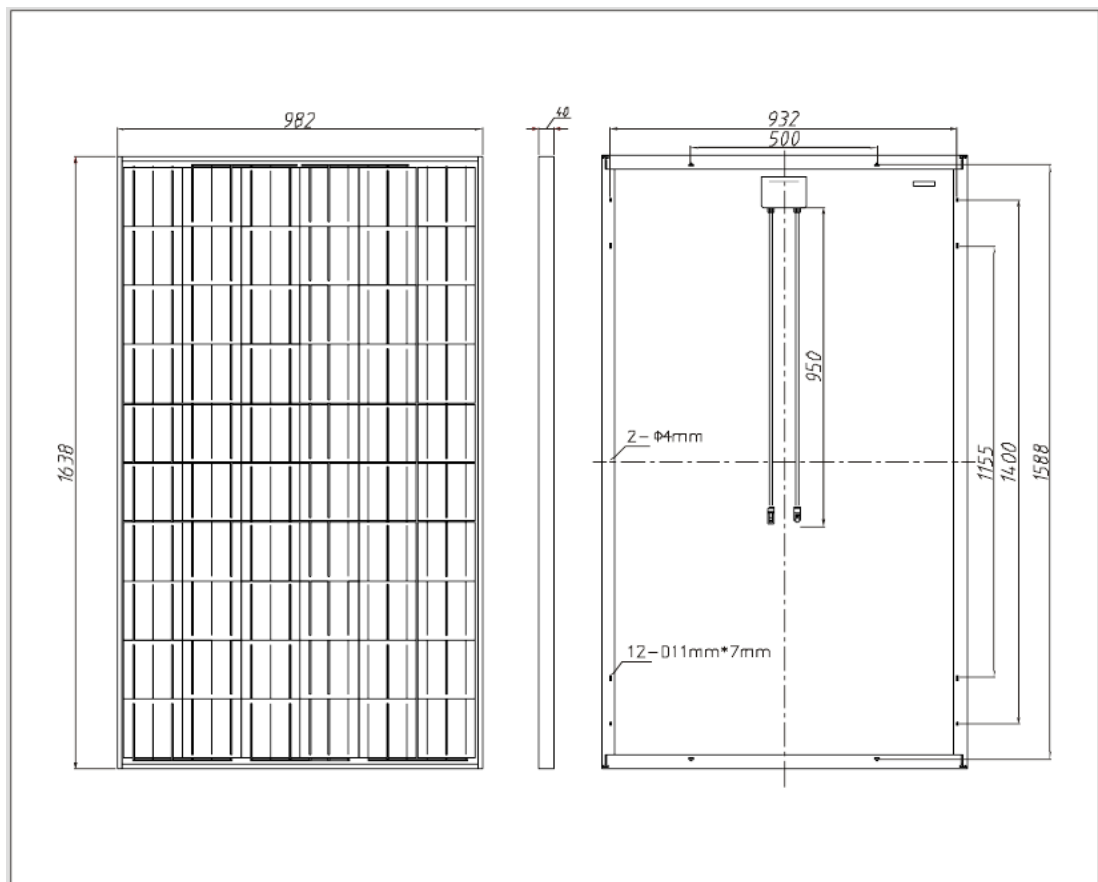


Рисунок 1.9 – Габаритні и приєднувальні розміри модулів фірми Solar World (Бонн, Німеччина)

Багато виробників також збирають готові до використання електростанції на основі наявних на ринку сонячних модулів і випускають поворотні шасі для монтажу модулів як окремий продукт. Вони

поставляються як у вигляді стандартних готових виробів, так і за індивідуальними замовленнями.

Існує безліч пропозицій по виробництву одновісних трекерів для тропіків і субтропіків і набагато менша кількість пропозицій по будівництву двовісних електростанцій в помірних зонах. Можливо, ці пропозиції відображають той факт, що збір сонячної енергії в країнах зі спекотним кліматом краще підходить для побутових потреб і дрібносерійного виробництва. У країнах, що розвиваються, також існує попит на невеликі електростанції в районах без централізованого енергопостачання. У країнах із посушливим кліматом такі електростанції забезпечують електрикою насоси для питної води, опріснювальні установки, установки ультрафіолетового знезараження тощо.

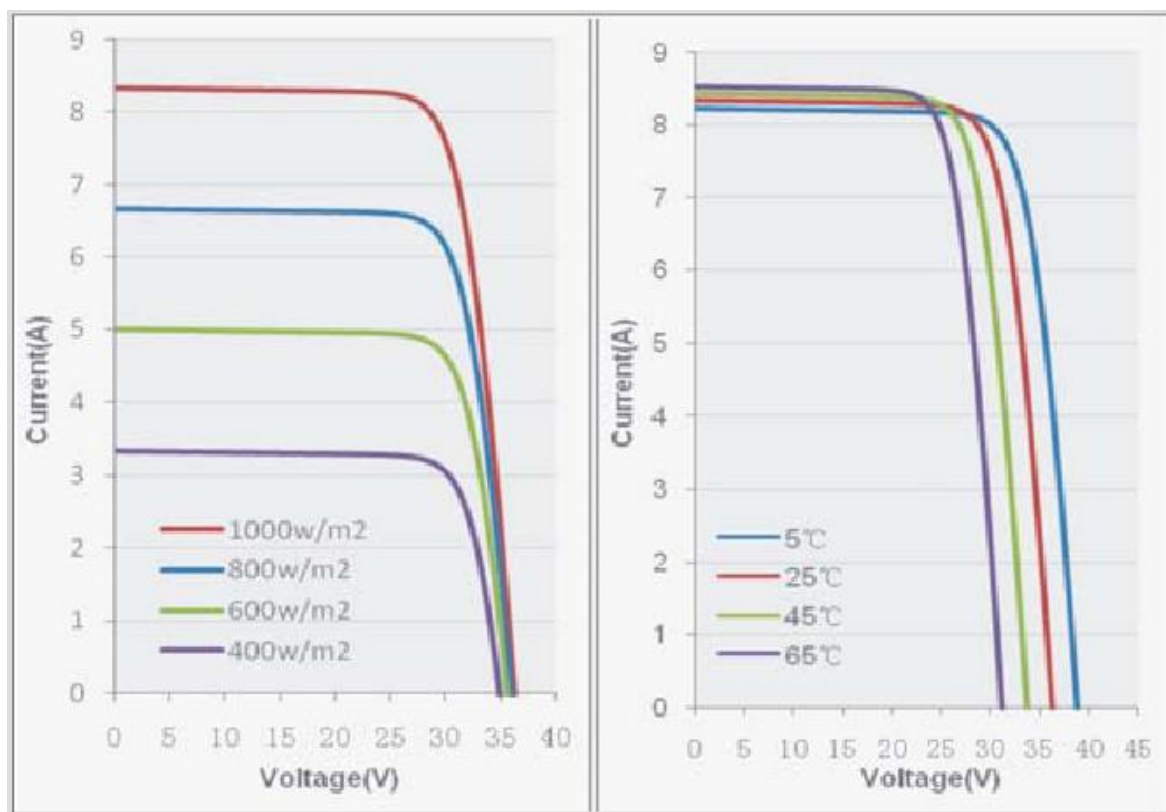


Рисунок 1.10 – Вольт-амперні характеристики модулів фірми Solar World (Бонн, Німеччина) при різній освітленості й температурі

Особливе місце в приполярному регіоні займають сонячні електростанції з двома обертовими осями. Через складність і відсутність спеціалізації в їх виробництві вони рідко поширюються на світовому ринку. Такі електростанції зазвичай встановлюються невеликою кількістю людей. Це пов'язано з тим, що сонячна енергія збирається рівномірно по всіх панелях тільки тоді, коли сонце перебуває під великим кутом підйому. Коли сонце нахилене до горизонту, панелі електростанцій у групі менш помітні одна для одної, що знижує ефективність збору енергії.

Під час встановлення фотоелектричних панелей в Арктиці проблема полягає в тому, що в міру руху сонця вздовж горизонту одні панелі затують інші. Навіть якщо панелі встановлені на різній висоті, тіні від перетворювачів і елементів конструкції відкидають свої тіні на світлоприймальних елементах, знижуючи їхню віддачу.

Щоб вирішити цю проблему, необхідно побудувати велику мобільну платформу і переміщати всі перетворювачі одночасно навколо одного вертикального центру обертання. Зрозуміло, в цьому випадку фотодатчики також мають бути відрегульовані вздовж горизонтальної осі, щоб максимально збільшити площу збору енергії.

1.2 Огляд конструкцій опорно-поворотних пристроїв геліоустановок

Як правило, у фотоелектричних установках, оснащених концентраторами випромінювання, використовують азимутально-зенітні поворотні пристрої (ПЗП), а наведення здійснюють за двома осями. На рис. 1.11 показано азимутально-зенітний СПД для турбогенератора або фотоелектричної установки з концентратором випромінювання. Нерухому опору 1 кріплять болтами до трьох фундаментних каналів 2 через фланці 3 і підсилювальні куточки 4. Кінці фундаментних каналів закріплені анкерними болтами 5. На нерухомій опорі розташований азимутальний двигун з редуктором 6,

вихідний вал якого з'єднаний з головним шківом 7 за допомогою тросової передачі.

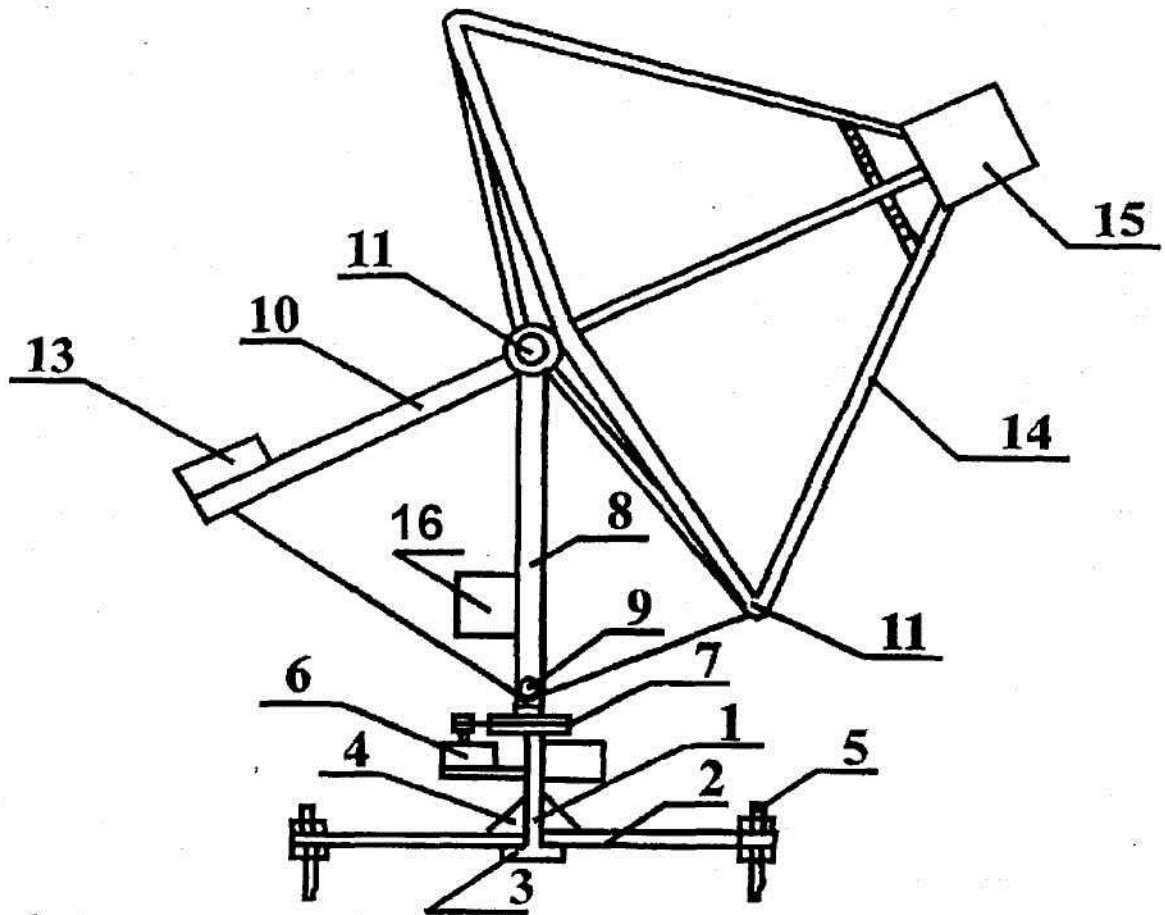


Рисунок 1.11 – Азимутально-зенітальний ОПП геліоустановки

Головний шків приводить у рух азимутально рухому опору 8, на якій встановлено приводний блок 9, що також має тросову головну передачу. Приводний трос кріпиться до кінця балансувальної ферми 10 і до обода маточини 11 кількома витками навколо похилого приводного шківа. Концентратор урівноважується відносно кутової осі 12 вантажами 13. У центрі концентратора на жорсткому кронштейні 14 розташовано

турбогенератор або фотоелектричний перетворювач енергії 15, а на рухомій азимутальній опорі закріплено теплообмінник 16 [4].

Така конструкція має низку недоліків, зокрема складність перекачування охолоджувальної води в теплообмінник і ризик розфокусування установки через вагу фотоелектричного перетворювача енергії. У цьому відношенні цікавий запропонований метод нестандартного розташування осей, показаний на рис. 1.12 [4]. Тут стежить двигун 1 з редуктором знімається з вертикальної опори 2 за допомогою спеціального кронштейна. Кабель 5 кріпиться до котушки 4 на вихідному валу редуктора. Інший кабель закріплений на несучому ободі концентратора 6. Намотування кабелю на котушку змінює кутове положення концентратора.

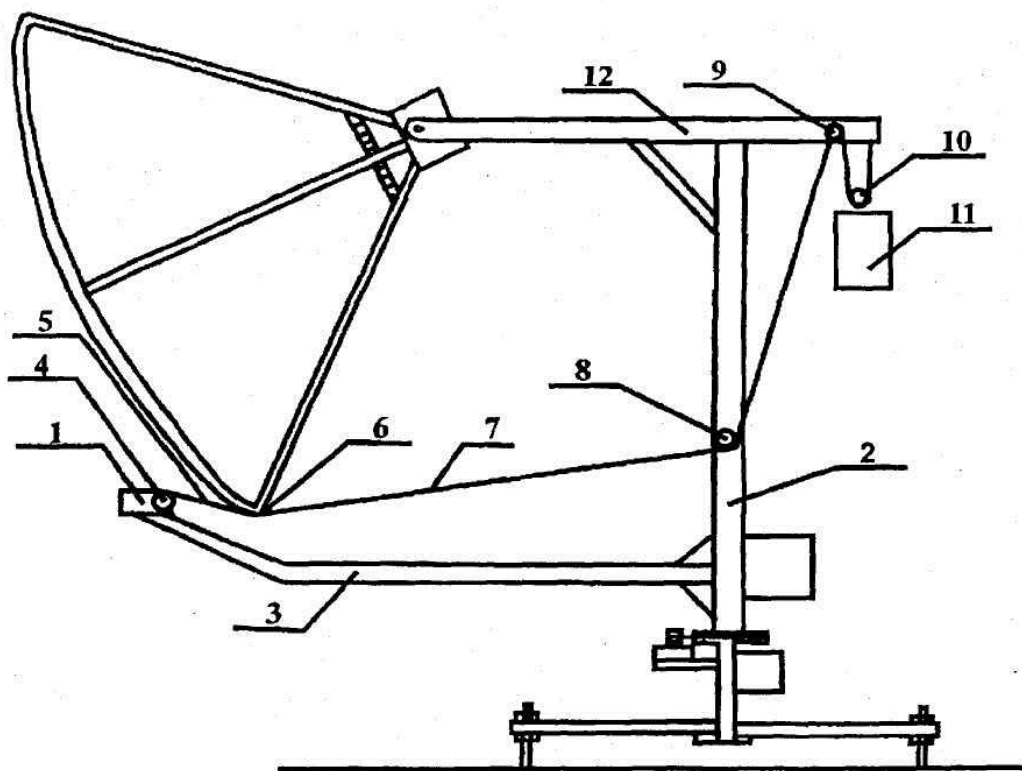


Рисунок 1.12 – Азимутально-зенітальний ОПП геліоустановки з винесеним електроприводом

установками менше, ніж під час спостереження сонця. На рис. 1.16 показано залежність експериментально отриманого [5] струму фотоелектричної установки від кута падіння випромінювання α .

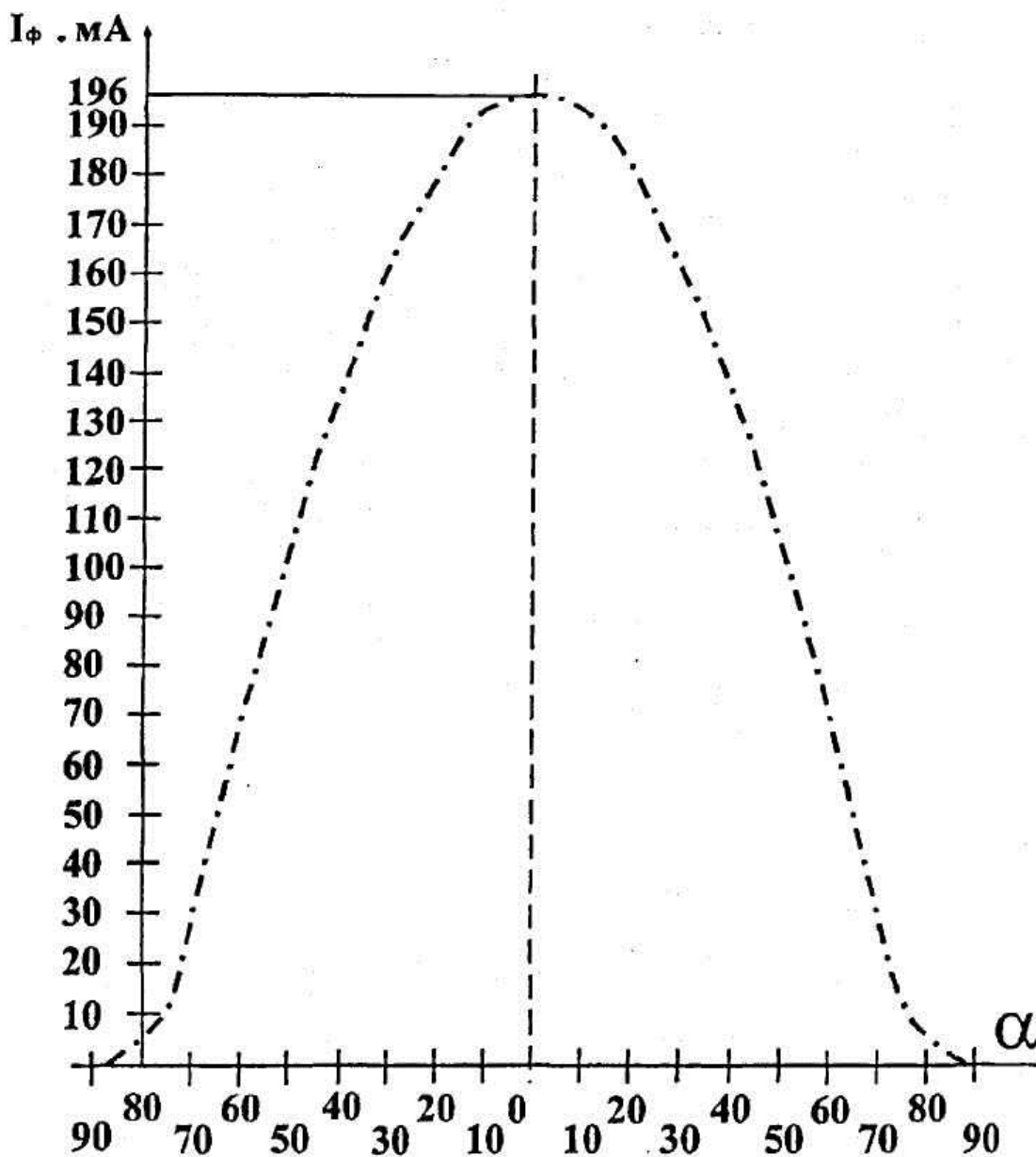


Рисунок 1.16 – Залежність сили струму фотоперетворювача від кута падіння випромінювання

Методом графічного інтегрування середнє значення фотоструму при зміні кутів падіння від 0° до 180° визначимо $I_\phi = 110$ мА.

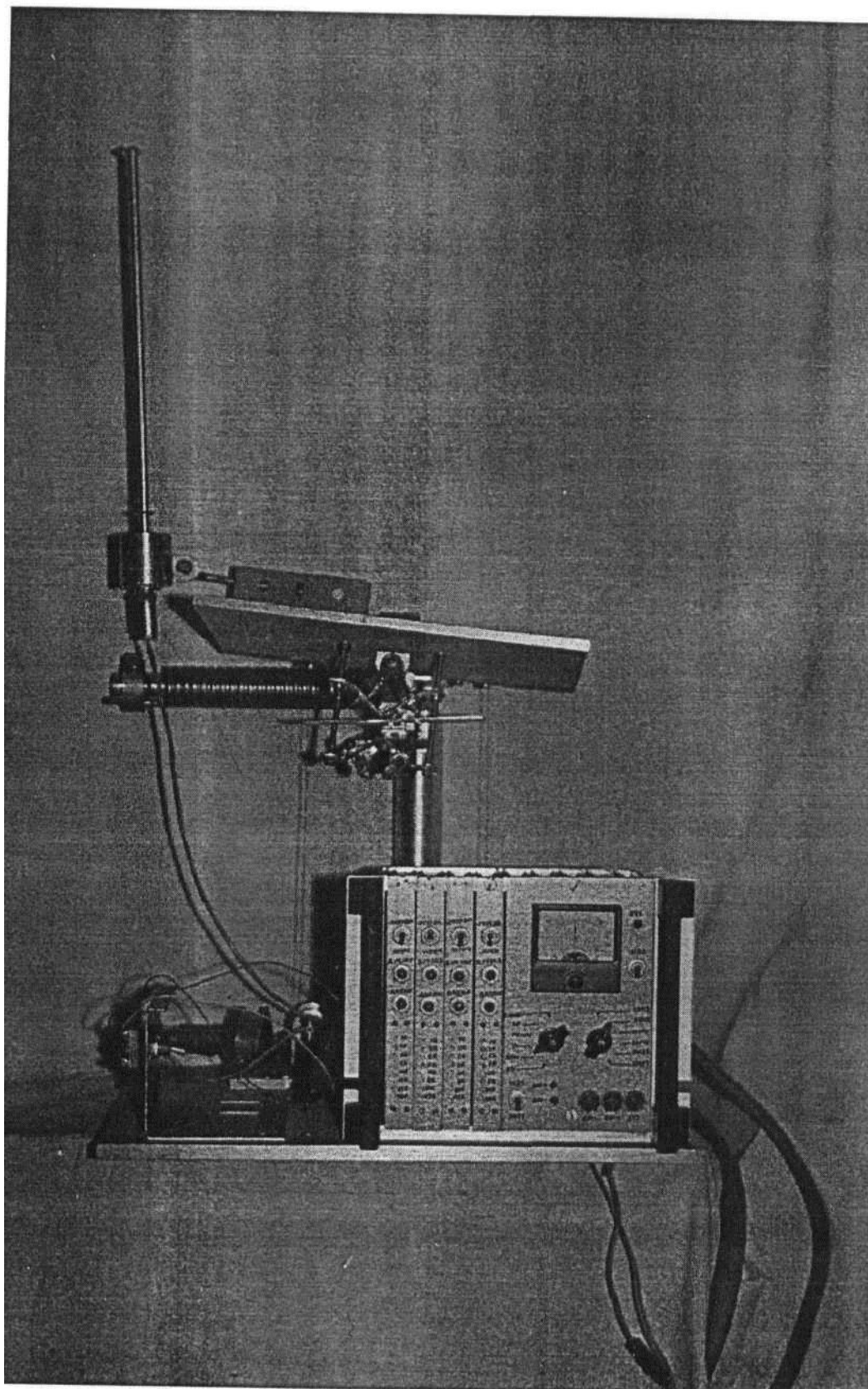


Рисунок 1.18 – Макет геліоустановки із взаємозалежним електроприводом

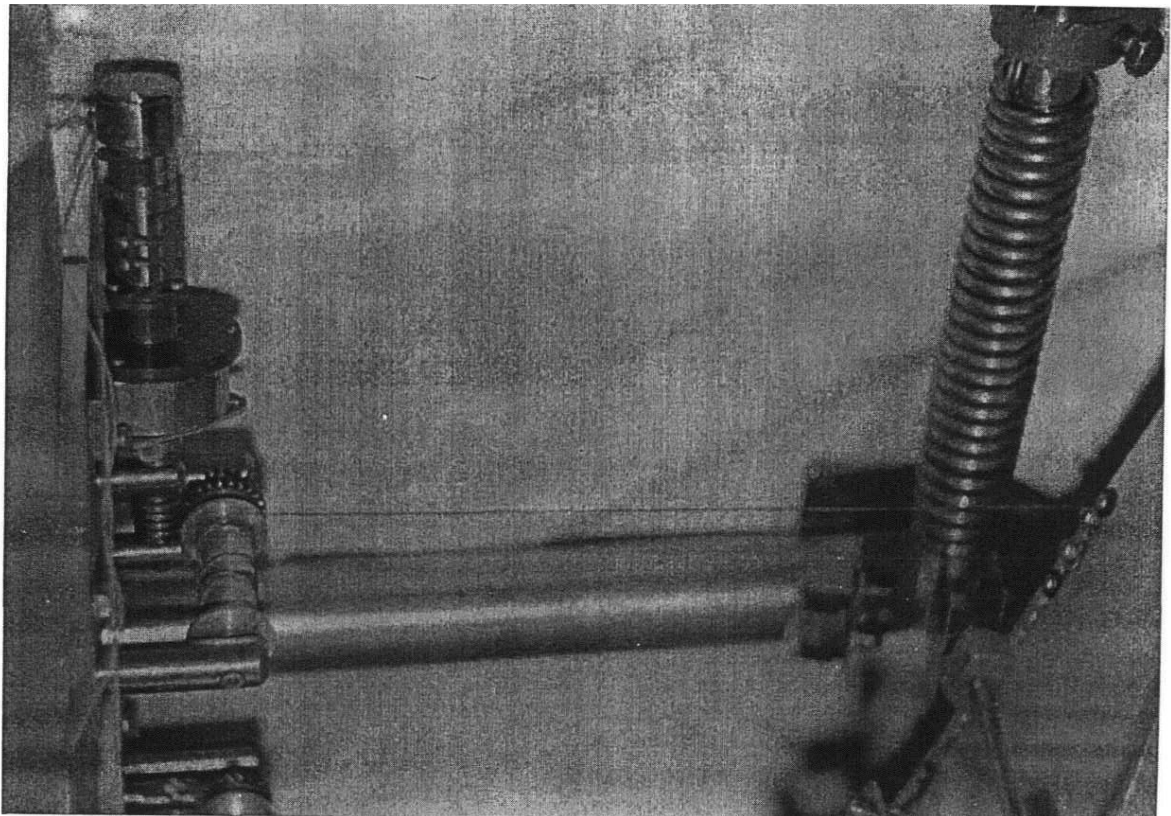


Рисунок 1.20 – Механізм передачі руху від двигуна до фотоприймача в макеті геліоустановки із взаємозалежним електроприводом

Завдяки цьому електродвигуни герметично захищені і можуть працювати в штучно створених мікросередовищах. Використання таких систем доцільне в разі експлуатації сонячних установок в умовах високих розрядів або агресивної атмосфери.

1.3 Огляд систем електроприводу для сонячних електроустановок

Для орієнтації енергоустановок з концентраторами променистого потоку використовують різні типи електроприводів: крокові електроприводи в режимі програмного керування від комп'ютера або в режимі погодинного запуску, керовані генератором імпульсів (для екваторіальних координатних осей), крокові слідкувальні електроприводи в режимі автоматичного

стеження, керовані датчиком неузгодженості, слідкувальні електроприводи постійного струму, керовані датчиком неузгодженості в режимі безперервного стеження за сонцем [6-9].

У зв'язку з тенденцією до вдосконалення і розроблення нових датчиків неузгодженості, що забезпечують високу точність, широке охоплення і високу надійність, передбачається, що керування від комп'ютерів буде замінено керуванням від датчиків неузгодженості у всіх типах сонячних енергосистем. На сьогодні датчики неспіввідності широко використовують у слідкуючих приводах, турбінних сонячних системах і фотоелектричних сонячних системах.

Крокові електроприводи видаються невиправдано складними, дорогими й енергонеефективними. Крім того, електричні сонячні установки виробляють постійний струм, який за необхідності може бути перетворений у змінний. Виходячи з цього, можна зробити висновок, що для процесу спостереження за сонячною енергією в концентруючих сонячних установках найбільше підходять приводи постійного струму, керовані датчиками неузгодженості.

Тиристорні перетворювачі, перетворювачі на транзисторах, що працюють у режимі посилення, і широтно-імпульсні перетворювачі на транзисторах можуть використовуватися як перетворювачі напруги для живлення двигунів постійного струму в режимі безперервного стеження за сонцем.

Найменш ефективними з погляду економії енергії є транзисторні перетворювачі, що працюють у режимі посилення.

Ефективність таких схем може бути визначена приблизно:

$$\eta_{m.y.} \approx \frac{U_2}{U_1}, \quad (1.2)$$

перетворювачів є їхня складність і, як наслідок, відносно низька надійність.

У роботі [11] запропоновано одноконтурну систему керування електроприводом із пропорційним регулятором положення. Розглядається параметрична оптимізація електропривода та електрична компенсація для зниження втрат потужності через пружні коливання механічних частин. Зокрема, пропонується використовувати паралельну компенсацію різниці швидкостей двигуна та вихідного вала. Слід зазначити, що така компенсація суттєво ускладнює привід через меншу частоту обертання вихідного вала.

У роботі [6] досліджено можливість застосування одноконтурного СПУ з пропорційно-інтегрально-диференціальним регулятором положення; використання одноконтурної структури для системи керування СПУ є достатнім для більшості типів фотоелектричних установок. Для досягнення більш високої точності було запропоновано використовувати негативний зворотний зв'язок за швидкістю. Водночас запропоновано пропорційний регулятор швидкості для безінерційних перетворювачів напруги, а також пропорційно-диференціальний регулятор, коли інерція перетворювача не є нехтуванням малою.

У цій же роботі велику увагу приділено методам компенсації механічного люфту приводу. Це і використання механічних торсіонних пристроїв, і застосування фрикційних гальм на вихідному валу, і використання багатокермінальних ESC. Всі ці методи призводять до збільшення втрат потужності, ускладнення системи електроприводу і підвищення вартості. В енергетичних сонячних установках люфт зазвичай менше допустимої похибки спостереження. Тому, якщо механічні розрахунки показують, що ударні навантаження на механічні частини перебувають у допустимих межах, бажано не використовувати жодних методів компенсації люфту.

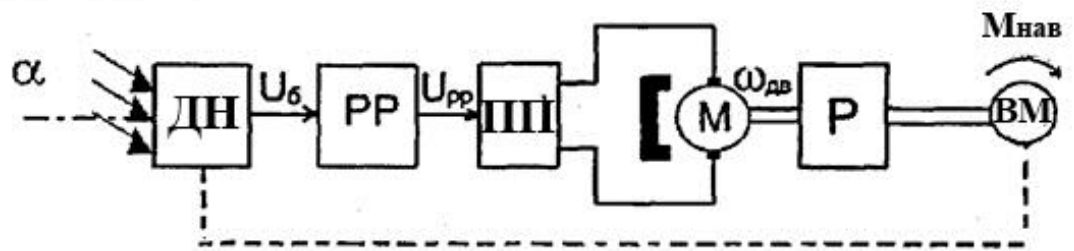
механічній частині, практично не залежать від параметрів двигуна. Як правило, енергетичні сонячні установки не потребують додаткової компенсації для зниження вібрацій. Рішення про використання компенсатора люфту в механічній частині приводу ухвалюється на підставі результатів розрахунків ударного навантаження.

У всіх режимах на вихідному валу потрібен однаковий крутний момент. Тому регулювання швидкості шляхом зменшення потоку не рекомендується. Застосування коробок швидкостей також не виправдане. Це призводить до необхідності проектування електроприводів шляхом узгодження номінальної швидкості двигуна зі швидкістю, з якою обладнання рухається в допоміжному режимі. Передбачається, що в режимі безперервного контролю швидкість обертання буде значно нижчою за номінальну. У зв'язку з цим доцільніше використовувати релейні електроприводи, що реалізують ступінчастий режим контролю.

На малюнку 2.1 наведено функціональну схему релейного електропривода, що стежить, для індуктивної системи фотоелектричної установки без концентрації випромінювання.

Датчик перекосу, механічно з'єднаний із фотоприймачем, виробляє сигнал напруги, що залежить від кута перекосу між оптичною віссю фотоприймача і напрямком на Сонце. Основною характеристикою датчика є характеристика визначення напрямку, яка відображає залежність вихідної напруги датчика від кута падіння світлового пучка 5.

Кут розходження



ДН — датчик неузгодженості;

РР - релейний регулятор напруги; ПП - пристрій перетворення;

Р—редуктор; ВМ - виконавчий механізм

Рисунок 2.1 – Функціональна схема електропривода

Приклад пеленгаційної характеристики наведений на рисунку 2.2.

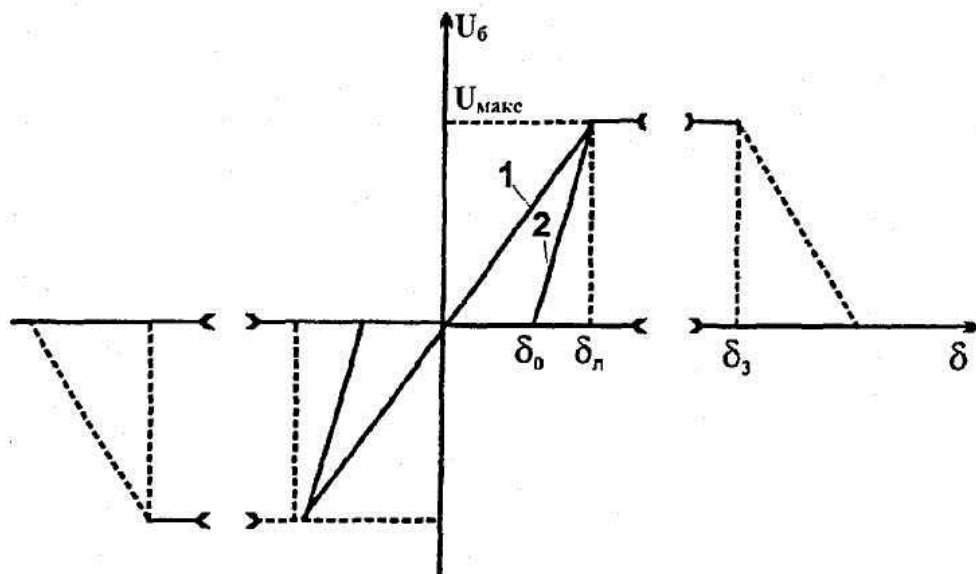


Рисунок 2.2 – Пеленгаційна характеристика датчика неузгодженості

Як правило, характеристика пеленгації складається з трьох зон: сліпої зони, лінійної зони та насиченої зони (характеристика 2); у деяких випадках сліпа зона відсутня (характеристика 1).

Сигнал від датчика неспіввісності надходить на реле-регулятор RR, яке керує силовим агрегатом [MRMA 23.00.00.000 DI1]. Двигун передає крутний момент на привід VM через коробку передач P. Механічний зв'язок між приводом і вихідним валом редуктора пружний.

2.3 Дослідження втрат енергії фотоелектричного перетворювача енергетичної сонячної установки під час переходу з безперервного режиму в ступінчастий

Визначимо втрати енергії та потужності фотоприймача під час переходу з безперервного режиму в ступінчастий для одного періоду, що складається з двох часових інтервалів (коли установка нерухома, і сонце рухається з певною швидкістю ω_s , і коли установка рухається зі швидкістю ω_{sh} і робить кроки).

Активна область фотодетектора залежить від кута падіння:

$$S_{акт} = S_a \cdot \cos\alpha, \quad (2.1)$$

де S_{Σ} - сумарна площа фотоприймача;

α — кут між оптичною віссю фотоприймача й напрямком на Сонце.

На рисунку 1.16 представлена експериментально отримана залежність струму фотоперетворювача від кута α . Дана залежність показує не тільки зменшення активної площі фотоприймача в міру зростання α , але також фізичні властивості фотоперетворювача. При малих кутах α , у тому числі на розглянутому проміжку від 10° до -10° з достатньою точністю можна вважати потужність на виході фотоперетворювача пропорційною його активної площі. Таким чином, залежність потужності на виході фотоперетворювача від α запишеться у вигляді:

$$P_{вих} = P_m \cos\alpha, \quad (2.2)$$

де P_m — потужність фотоперетворювача при $\alpha = 0$.

Втрати потужності фотоперетворювача визначаються :

$$\Delta P_\phi = P_m(1 - \cos\alpha). \quad (2.3)$$

Енергія, що втрачається на деякому інтервалі часу T_1 визначиться як

$$\Delta W = \int_0^{T_1} \Delta P dt = P_m \int_0^{T_1} (1 - \cos\alpha) dt, \quad (2.4)$$

при цьому в цьому випадку α є функцією часу:

$$\alpha = -\omega_0 t + \alpha_1, \quad (2.5)$$

де α_1 — відхилення оптичної осі фотоприймача від напрямку на Сонце на початку розглянутого інтервалу часу T_1 при $t=0$;

ω_0 — кутова швидкість Сонця щодо оптичної осі фотоприймача, рад/с.

При цьому кут α вважається позитивним, якщо оптична вісь відстає, і негативним, якщо випереджає рух Сонця [МРМА 23.00.00.000 РР].

Тоді втрати енергії на інтервалі часу t , протягом якого $\omega_0 = const$, визначаються:

і відкидаючи члени високого порядку малості, одержимо наближену, з точністю до 2%, залежність $\Delta W_{об}$ від α_1 і α_2 (у радіанах), при кутах α_1 і α_2 що лежать у проміжку від -10° до $+10^\circ$:

$$\Delta W_{об} = \frac{P_m}{\omega_c} \left(\frac{\alpha_1^3 - \alpha_2^3}{6} \right). \quad (2.15)$$

Рівняння (2.15) має зручнішу для сприйняття форму і дає змогу зрозуміти природу кута та його вплив на , але через допущення воно може внести помилки в інтерпретацію рівняння (2.13).

Розглянемо куту залежність втрат енергії за фіксованого розміру кроку і , . Враховуючи, що.

$$\theta_\kappa = \alpha_1 - \alpha_2, \quad (2.16)$$

звідки

$$\theta_\kappa = \alpha_1 - \alpha_2. \quad (2.17)$$

Тоді вираз (2.15) перепишеться у вигляді:

$$\Delta W_{об} = \frac{P_m \omega_\kappa}{(\omega_\kappa - \omega_c) \omega_c} (\theta_\kappa - \sin(\theta_\kappa + \alpha_2) + \sin \alpha_2). \quad (2.18)$$

Визначимо частинну похідну вираження (2.18):

$$\frac{\partial(\Delta W_{об})}{\partial \alpha_2} = \frac{P_m \omega_\kappa}{(\omega_\kappa - \omega_c) \omega_c} (\cos \alpha_2 - \cos(\theta_\kappa + \alpha_2)); \quad (2.19)$$

і прирівняємо її до нуля:

$$\frac{P_m \omega_k}{(\omega_k - \omega_c) \omega_c} (\cos \alpha_2 - \cos(\theta_k + \alpha_2)) - \cos \alpha_2 - \cos(\theta_k + \alpha_2) = 0. \quad (2.20)$$

Знайдений тільки один розв'язок рівняння, що має фізичний зміст:

$$\alpha_2 = -\frac{\theta_k}{2}. \quad (2.21)$$

$$\alpha_1 = -\alpha_2 = \frac{\theta_k}{2}. \quad (2.22)$$

Умови (2.21) і (2.22) - це умови, за яких мінімізуються втрати енергії у фотоперетворювачі під час переходу від безперервного режиму спостереження до покрокового режиму спостереження із заданим розміром кроку. У цьому разі рівняння (2.8) може бути переписано так:

$$\Delta W_{об}^{\min} = \frac{P_m \omega_k}{(\omega_k - \omega_c) \omega_c} \left(\theta_k - 2 \sin \frac{\theta_k}{2} \right). \quad (2.23)$$

Середня втрата потужності фотодетектора за весь сеанс спостереження може бути визначена таким чином.

$$\Delta P_{\phi} = \frac{\Delta W_{об} \cdot \omega_c}{\theta_k}, \quad (2.24)$$

або, після перетворень:

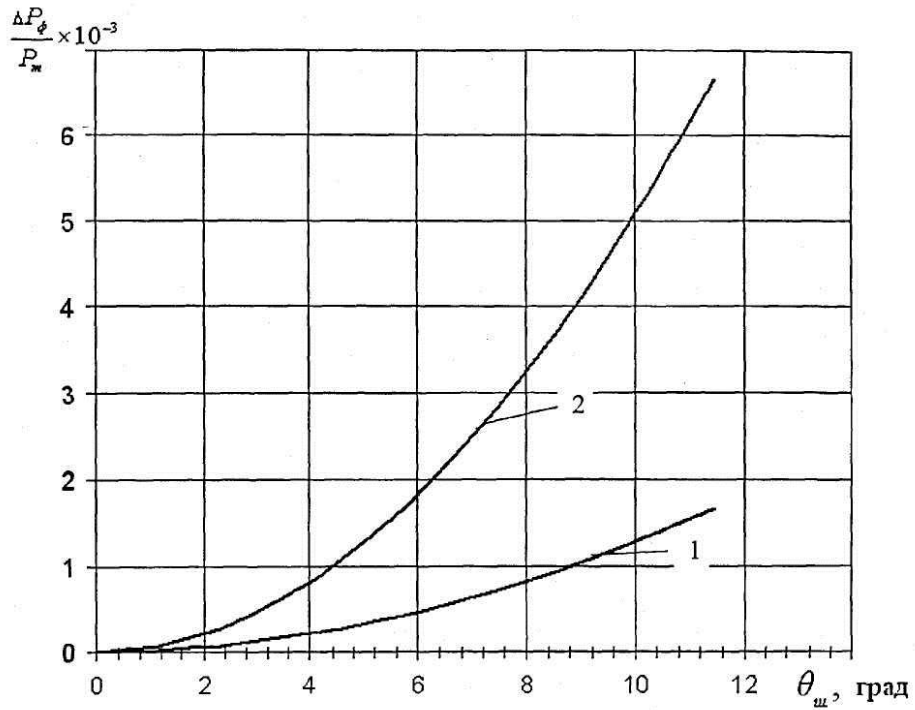


Рисунок 2.3 – Залежність середніх втрат потужності фотоперетворювача від величини кроку, представлена в лінійній шкалі

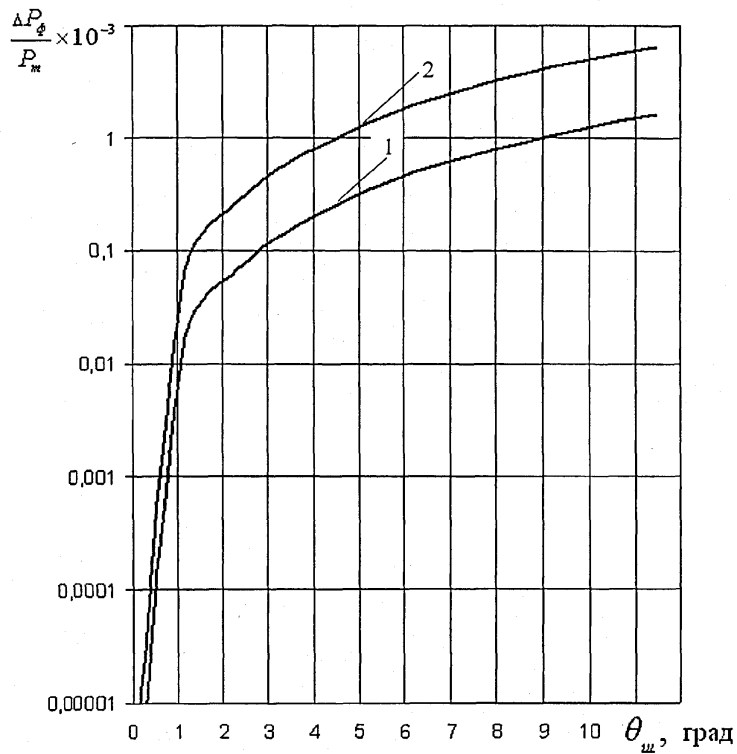


Рисунок 2.4 – Залежність середніх втрат потужності фотоперетворювача від величини кроку, представлена в логарифмічній шкалі

3 ПРАКТИЧНА РЕАЛІЗАЦІЯ СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОПРИВОДА Й АВТОМАТИКИ ГЕЛІОУСТАНОВКИ

3.1 Вибір електродвигуна для електропривода геліоустановки, що проектується

Фотоелектричні станції встановленою потужністю 200 Вт і 2000 Вт призначені для роботи в південних широтах України. Опорне й обертове обладнання установок засноване на екваторіальній системі координат, а головні осі розташовані горизонтально. На малюнку 3.1 показано установку потужністю 200 Вт, а на малюнку 3.2 - 2000 Вт.

Для розрахунку потужності стежачого двигуна енергетичної сонячної установки без радіаційної концентрації за заданої потужності $P = 2000$ Вт і заданої сонячної освітленості $E_0 = 850$ Вт/м² спочатку визначають необхідну ефективну площу сонячних елементів [18]:

$$S = \frac{P_e}{\eta_n \cdot E_0 \cdot K_{з-я}}, \quad (3.1)$$

де η_n – ККД фотоперетворювача, що враховує ККД перетворення енергії сонячного випромінювання в електричну енергію й омичні втрати, $\eta_n = 0,08$;

$K_{з-я}$ – коефіцієнт заповнення сонячних модулів фотоелементами, $K_{з-я} = 0,9$.

$$S = \frac{2000}{0,08 \cdot 850 \cdot 0,9} \approx 33 \text{ м}^2.$$

вітрові навантаження можуть перевантажити виконавчі механізми. Тому, якщо фотоелектрична установка має бути повністю автоматизована для запобігання відмов системи через сильні вітрові навантаження, виникають дві проблеми: по-перше, контроль цих навантажень, а по-друге, правильна реакція автоматизованої системи. У найпростішому випадку реакція автоматизованої системи полягає в поданні команди на електропривод для повороту фотодатчика в положення, що відповідає мінімальному вітровому навантаженню на фотодатчик. Це положення може бути визначено один раз на основі метеорологічних розрахунків. Якщо існує ризик перевантаження двигуна, його необхідно зупинити. Якщо інженерні розрахунки показують, що кінематичний ланцюг може вийти з ладу через високе вітрове навантаження, необхідно передбачити муфту для зупинки кінематичного ланцюга на виході. Таким чином, поворот у положення мінімального навантаження може відбуватися в спокійних умовах. Система має виходити з цього положення або за командою оператора, або через певний проміжок часу, коли сила вітру знизиться до прийняттого рівня.

Очевидно, що реалізація захисту від неприпустимих вітрових навантажень збільшує вартість і складність системи. Тому використання подібних автоматизованих елементів потребує економічного обґрунтування і повинно враховувати такі фактори, як ймовірність і частота виникнення сильного вітру в конкретному районі, необхідність реагування системи без втручання людини, а також можливість або неможливість підвищення надійності установки іншими способами.

У проєктованих фотоелектричних установках відсутні системи захисту від неприпустимого тиску вітру і датчики сонячної радіації. Фотодатчик починає рух (нахил), коли сигнал від датчика неузгодженості досягає максимального значення, і зупиняється в разі досягнення

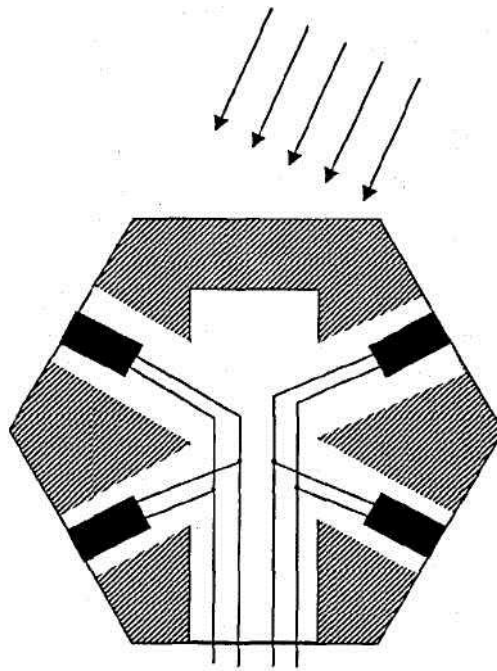


Рисунок 3.4 – Конструкція датчика неузгодженості з розширеною пеленгаційною характеристикою

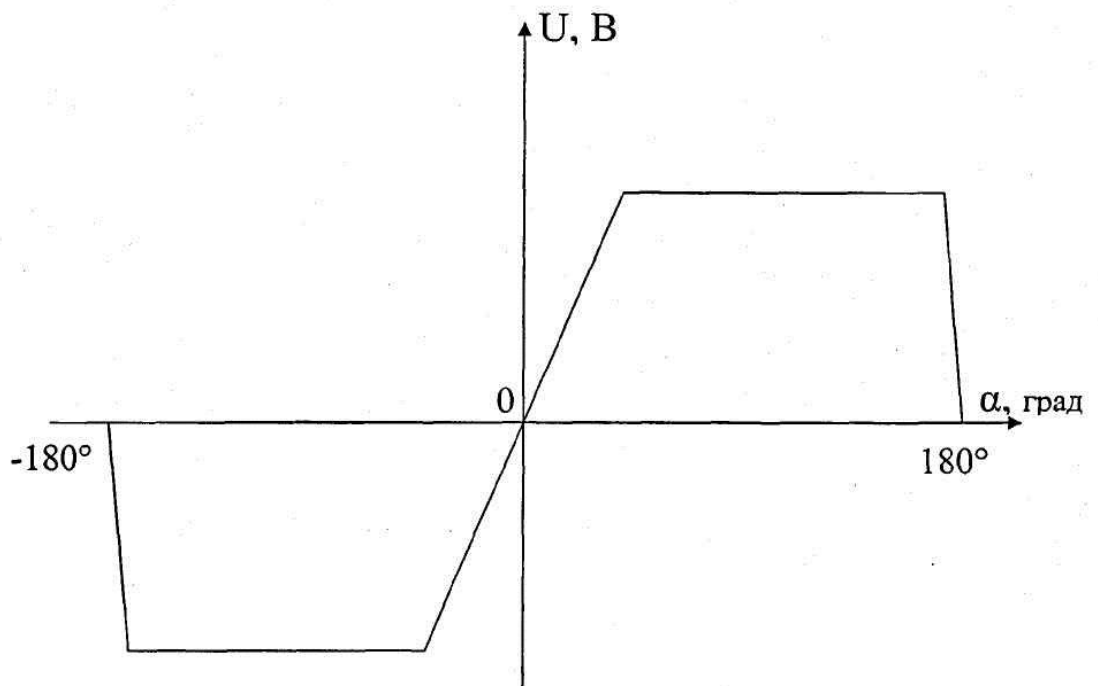


Рисунок 3.5 – Пеленгаційна характеристика розробленого датчика неузгодженості

полярності СП і акумулятора, а також від перевантаження двигуна спостереження приводу.

Блок керування має такі параметри:

- Напруга СБ (В) 15...38;
- АБ (А) Струм зарядки 6...8;
- АБ (В) Межі регулювання ліміту, 13.5...14.5 і вище.

Функціонально пристрій складається з трьох незалежних блоків:

- Блок керування, Блок комутації та Блок індикації;
- блок стабілізації струму і напруги АВ - плата P1;
- блок автоматичної орієнтації SB - плата P2.

3.4.1 Опис блоків керування, комутації та індикації

У системі керування розроблено світлодіодну систему аварійної та передаварійної сигналізації. Індикатори загоряються в разі:

- Перегорають запобіжники PR1, PR2 або PRZ;
- Зарядний струм тече від SB до АВ;
- Напруга акумулятора падає нижче 10,5 В;
- напруга АБ перевищує 15 В.

Якщо індикатор горить, подальша розрядка батареї заборонена.

Схему блока керування, комутації та індикації наведено на рис. 3.7.

На схемі є три силові перемикачі: "стоп-старт" подає живлення на електропривод, "автомат-ручний" обирає режим керування, а перемикач "вперед-назад" визначає полярність напруги, що подається на двигун під час ручного керування [МРМА 23.01.00.000 ЭЗ]..

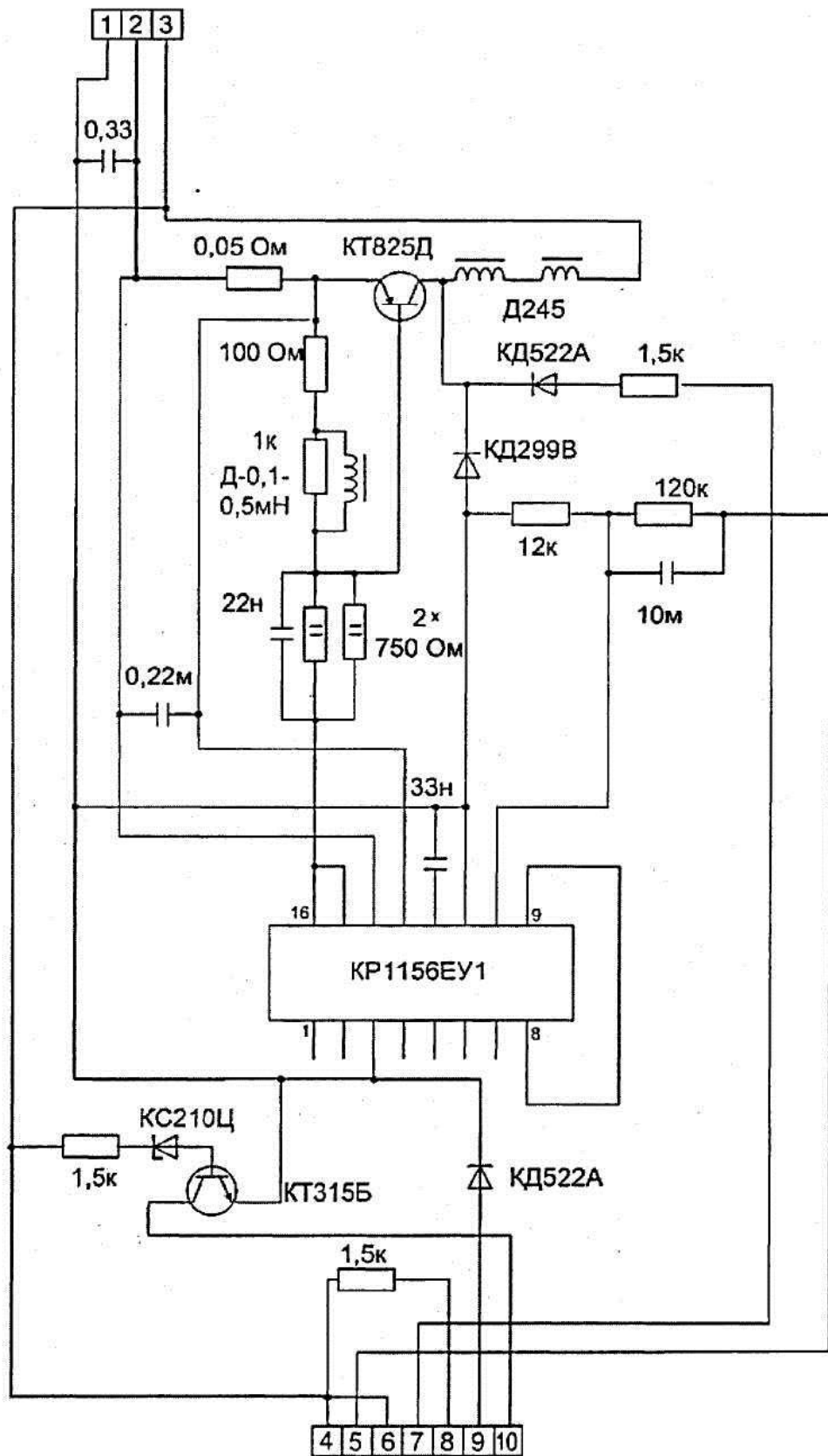


Рисунок 3.8 – Принципова схема вузла стабілізації струму й напруги АБ

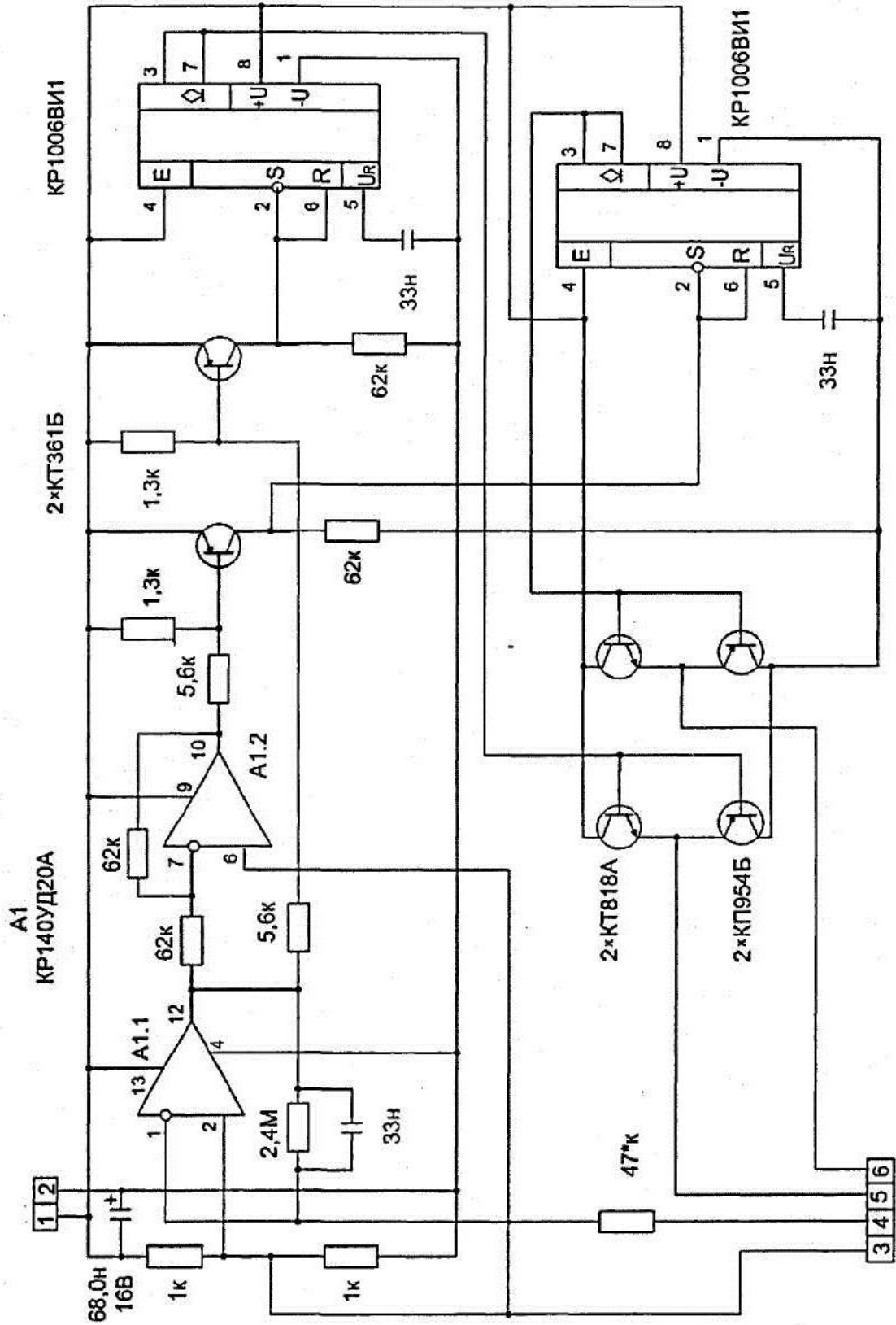


Рисунок 3.9 – Принципова схема вузла автоматичної орієнтації сонячних батарей

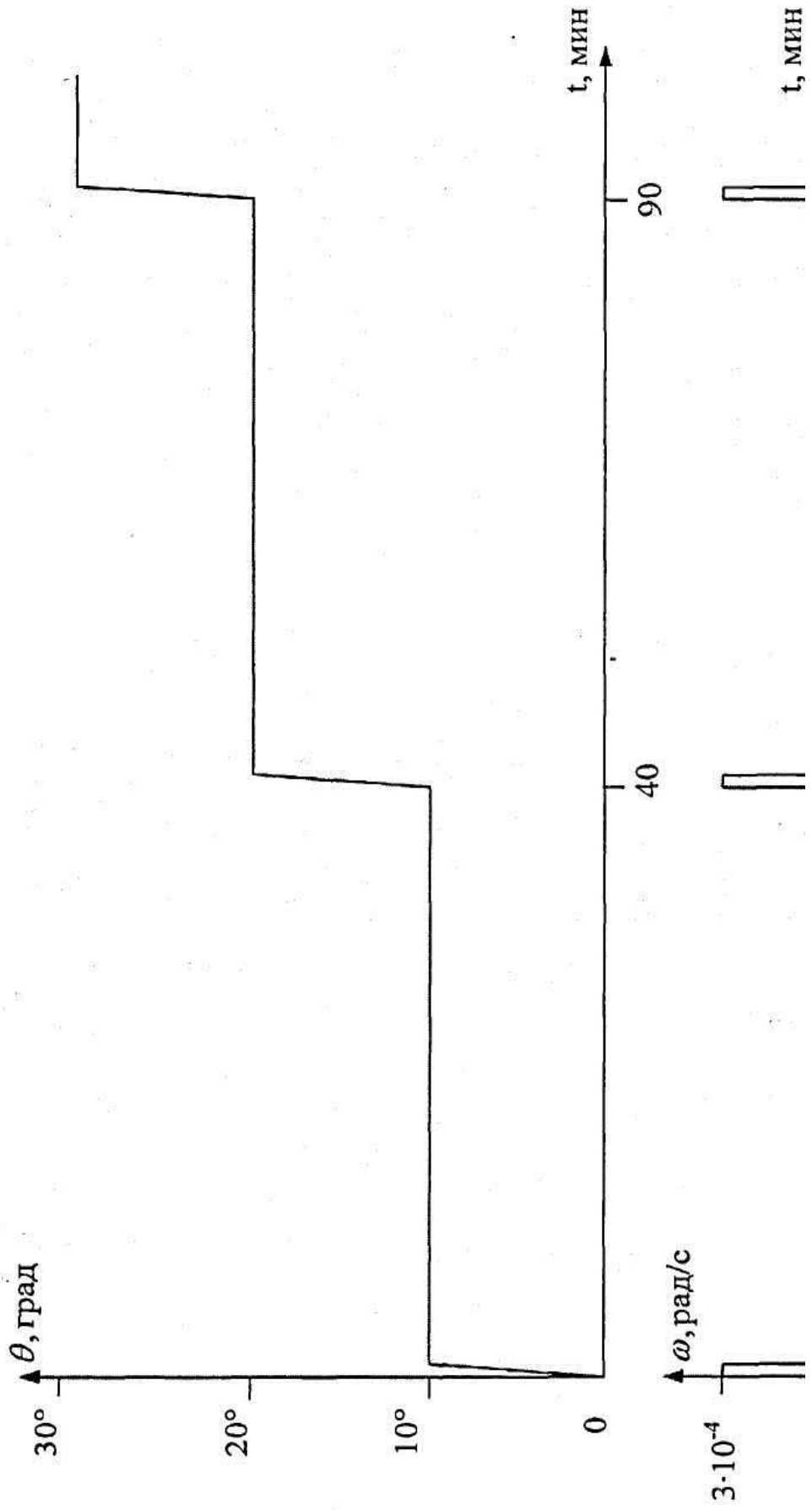


Рисунок 3.10 – Діаграми швидкості й положення валу в режимі спостереження

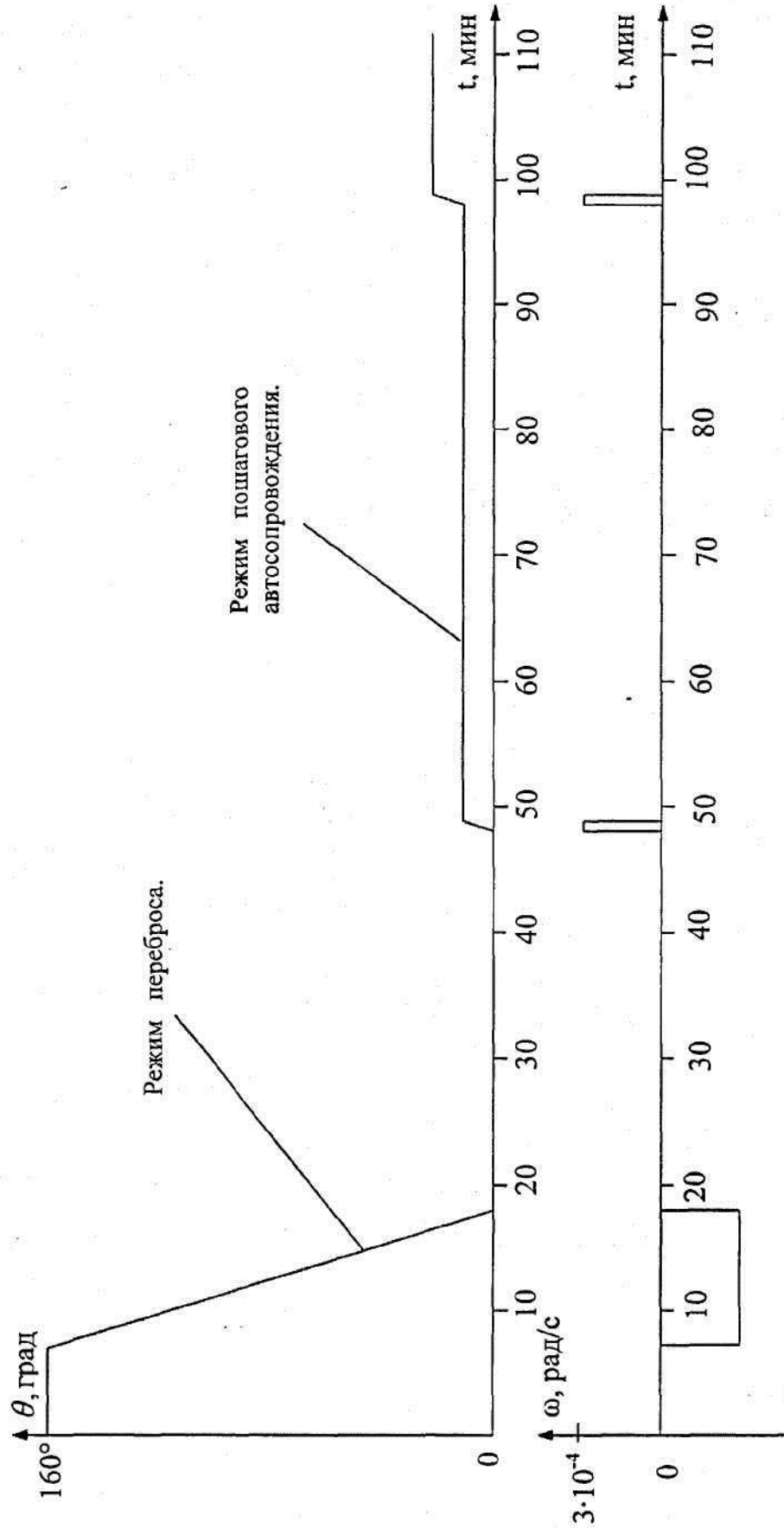


Рисунок 3.11 – Діаграми швидкості й положення валу в режимі перекидання

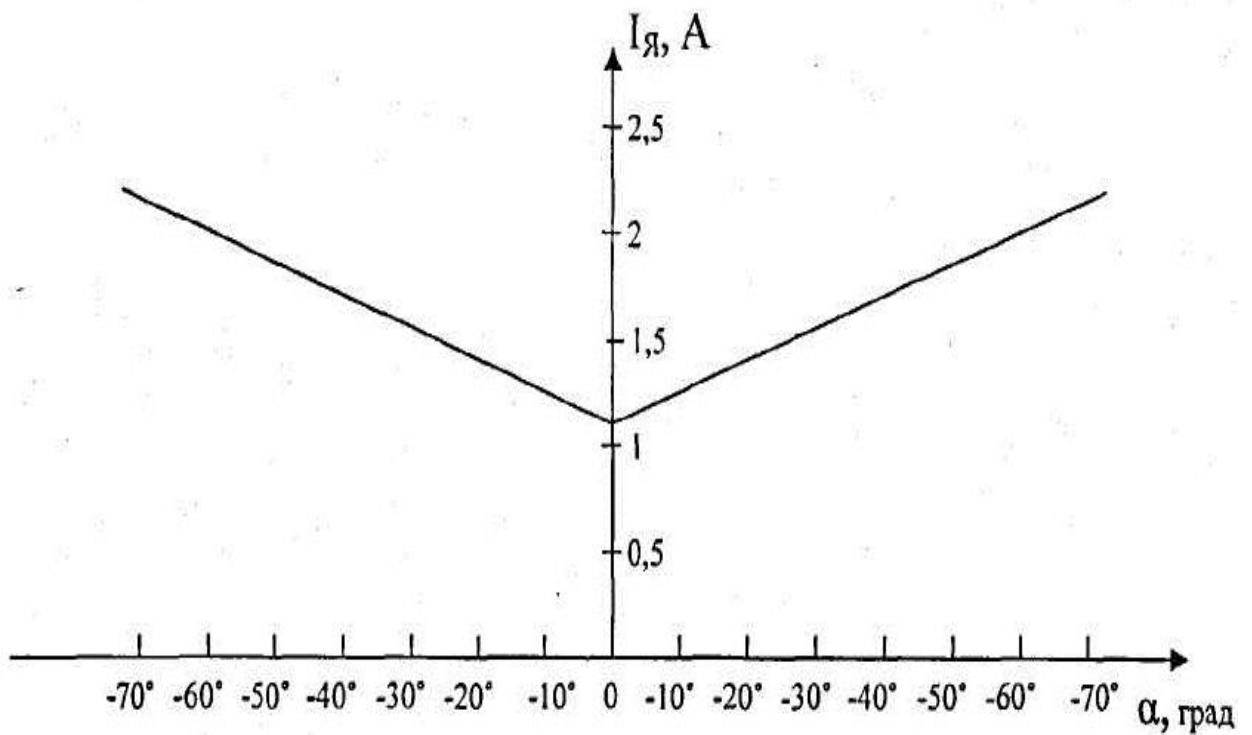


Рисунок 3.12 – Експериментально знята залежність струму якоря від кута нахилу фотоприймача до горизонталі

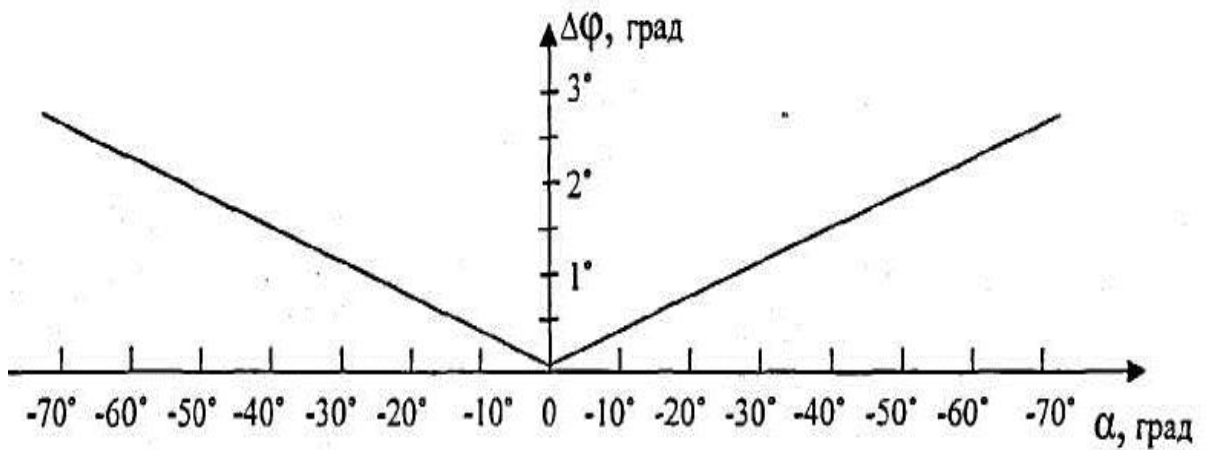


Рисунок 3.13 – Експериментально знята залежність кута дисбалансу модулів фотоприймача від кута нахилу фотоприймача до горизонталі

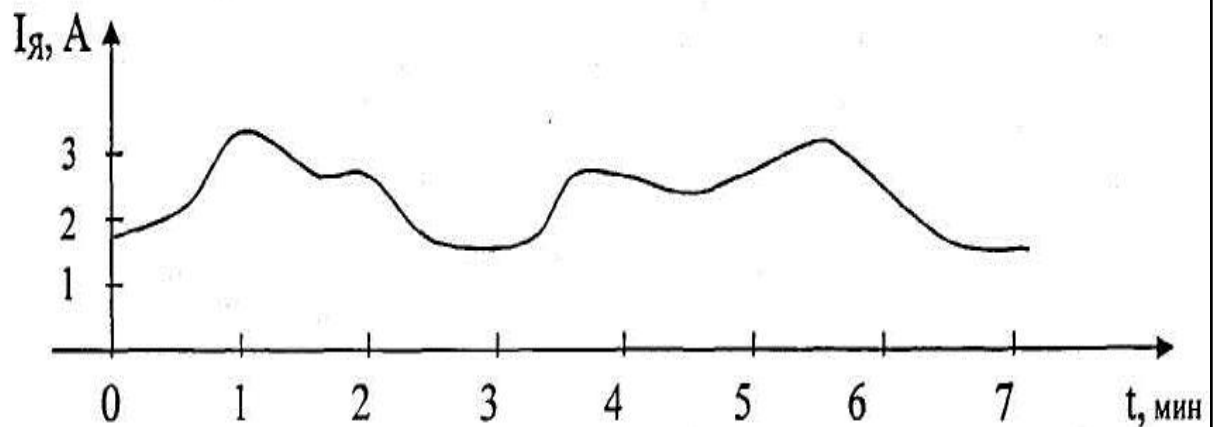


Рисунок 3.14 – Експериментально знята залежність струму якоря від часу при впливі на фотоприймач вітрових навантажень

Висновки до третього розділу

Випробування розробленої системи орієнтації фотоелектричних установок показали обґрунтованість запропонованої методики вибору потужності електродвигунів [МРМА 23.03.00.000 ГД].

Розроблено та впроваджено схему електроприводу та системи автоматики для керування фотоелектричною установкою [МРМА 23.03.00.000 ГД]. Випробування фотоелектричних установок показали, що розроблена система відповідає вимогам надійності та високого ступеня автоматизації.

Розроблений датчик неспіввісності з розширеними пеленгаційними характеристиками було застосовано на реальній фотоелектричній установці.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. United Solar Technologies. [Електронний ресурс] / United Solar Technologies – Режим доступу до ресурсу: <http://ust.su/solar/media/section-inner79/2866/>.
2. Complete Solar PV System Installation Guide: Simplified Guide on How to Install Solar Systems in Homes, How to Build Solar-Powered Electric Cars & ... (Lucrative Business Ideas Series) Paperback – Large Print, July 23, 2021
3. Wengenmayr R., Bührke T. Renewable Energy: Sustainable Concepts for the Energy Change, 2nd ed. — Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, Weinheim, 2013. VI, 164 p.
4. Farret F.A., Simões M.G. Integration of Alternative Sources of Energy. Wiley-IEEE Press, Hoboken, New Jersey, 2006. XXVI, 471 p.
5. О. Локсеев Р.Л. Відновлювальні джерела енергії. Знання УРСР, №7, 2000, с.14-15.
6. Дикий М.О. Поновлювані джерела енергії.: Підручник. – К.: Вища школа, 1993. – 351с.: іл.
7. Атлас енергетичного потенціалу відновлюваних джерел енергії України. – К.:ТОВ «ВіолаПрінт», 2008. – 55 с.
8. Забарний Г.М. Енергетичний потенціал нетрадиційних джерел енергії України / Г.М. Забарний, А. В. Щурчков// – К.: ІТТФ, 2002. С. 151 -159.
9. Екологізація енергетики: Навч. пос. / Шевчук В.Я., Бічивський Г.О., Сатолкін Ю.М., Навроцький В.М. - К.: Вища освіта, 2002. - 111 с.
10. Енергоефективність та відновлювальні джерела енергії / Під заг. ред. А.К.Шидловського. –Київ; Українські енциклопедичні знання, 2007. – 560 с.
11. Атлас енергетичного потенціалу відновлюваних джерел енергії України / за ред. С.О. Кудрі. – Київ: Інститут відновлюваної енергетики НАН України, 2020. – 82 с.

