

Міністерство освіти і науки України
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

Факультет прикладних інформаційних технологій та електроінженерії

(повна назва факультету)

Кафедра електричної інженерії

(повна назва кафедри)

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття освітнього ступеня

магістр

(назва освітнього ступеня)

на тему: **ІНТЕЛЕКТУАЛЬНА АВТОМАТИЧНА СИСТЕМА
ОРІЄНТУВАННЯ СОНЯЧНИХ БАТАРЕЙ
НЕСТАЦІОНАРНОЇ ЕНЕРГЕТИЧНОЇ УСТАНОВКИ**

Виконав студент VI курсу, групи ЕМм-61

спеціальності 141 Електроенергетика, електротехніка та

електромеханіка

(шифр і назва спеціальності)

(підпис) Кошицький К.О.
(прізвище та ініціали)

Керівник _____
(підпис) Коваль В.П.
(прізвище та ініціали)

Нормоконтроль _____
(підпис) Вакуленко О.О.
(прізвище та ініціали)

Завідувач кафедри _____
(підпис) Тарасенко М.Г.
(прізвище та ініціали)

Рецензент _____
(підпис) Габрусев Г.В.
(прізвище та ініціали)

Тернопіль
2020

РЕФЕРАТ

Кваліфікаційна робота магістра містить пояснювальну записку та графічну частину. Пояснювальна записка має 80 сторінок, 17 аркушів презентації, 36 ілюстрацій, 4 таблиці та 12 використаних першоджерел.

Актуальність роботи полягає в дослідженні мобільних автоматичних енергетичних установок для підвищення енергоефективності перетворення сонячної променевої енергії в електричну.

Об'єкт дослідження: процес стеження за сонцем із можливістю прогнозування його положення при затіненні.

Предмет дослідження: положення сонця при зміні розташування приймача випромінювання.

Метою даної роботи є дослідження і розробка автоматичної системи стеження за положенням сонця з екстраполяцією в умовах можливого, тривалого затінення.

Запропоновано схему та алгоритм роботи системи стеження на основі використання мікропроцесора, який опрацьовує дані від параболічного пелюсткового датчика положення сонця і методом екстраполяції здійснює керування кроковими електродвигунами електроприводу.

Ключові слова: СОНЦЕ, СТЕЖЕННЯ, ЕКСТРАПОЛЯЦІЯ

ЗМІСТ

Вступ

1 АНАЛІТИЧНИЙ РОЗДІЛ	9
1.1 Сонячні енергетичні установки з системою стеження. Класифікація	9
1.2 Сонячні енергетичні установки на фотоелектричних модулях.....	11
1.2.1 Автоматизована сонячна установка	11
1.2.2 Сонячна електростанція	13
1.2.3 Панель сонячної батареї конструкції Буркова Л.М.....	17
1.3 Висновки до розділу	21
2 ПРОЕКТНО-КОНСТРУКТОРСЬКИЙ РОЗДІЛ.....	21
2.1 Технічне обґрунтування структури системи і вибір основних елементів сонячної установки.....	23
2.1.1 Постановка завдання.....	23
2.1.2 Аналіз експериментального дослідження робочого струму елемента сонячної батареї по кутах	24
2.1.3 Поступлення сонячної енергії на сонячні батареї	27
2.1.4 Автономна сонячна енергоустановка з автоматичним стеженням за Сонцем.....	27
2.1.5 Сонячна батарея як об'єкт управління	29
2.1.6 Повернення сонячних батарей у вихідне положення.....	33
2.2 Пелюстковий датчик кутових координат сонячної енергетичної установки.....	33
2.3 Кутомірний датчик в системі стеження і принципи його роботи	34
2.4 Розрахунок пеленгаційної характеристики параболічного фотоприймача	37
2.5 Алгоритми і цифрові пристрої формування сигналу помилки	43
2.6 Вибір та обґрунтування електричного приводу сонячних батарей.....	44

2.6.1 Електричні параметри і механічні характеристики системи.....	46
2.6.2 Електродвигун	48
2.7 Система управління кроковим електродвигуном	50
2.8 Висновки до розділу	52
3 РОЗРАХУНКОВО-ДОСЛІДНИЦЬКИЙ РОЗДІЛ.....	54
3.1 Розробка алгоритмів системи стеження за Сонцем в умовах тривалого затінення	54
3.1.1 Формування контуру автоматичного спостереження сонячної енергетичної установки	54
3.1.2 Дискретні екстраполюючі системи	56
3.1.3 Генерування поліномів у дискретних системах.....	57
3.1.4 Принцип екстраполяції у дискретних системах	58
3.1.5 Екстраполююча система безперервної дії	63
3.1.5.1 Екстраполюючий фільтр першого порядку.....	64
3.1.5.2 Екстраполюючий фільтр другого порядк.....	65
3.1.5.3.Екстраполюючий фільтр третього порядку	65
3.1.5.4 Екстраполюючий фільтр четвертого порядку.....	65
3.1.5.5 Екстраполюючий фільтр п'ятого порядку	66
3.2 Система управління із застосуванням мікропроцесора	69
3.3 Висновки до розділу	72
4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ	74
4.1 Захист від статичної електрики	74
4.2 План дій органів управління і сил із запобігання і ліквідації надзвичайних ситуацій на об'єктах електроенергетики.....	76
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ	78
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ	80

ВСТУП

Перетворення і освоєння сонячної енергії, поряд з нанотехнологією - один з найважливіших пріоритетів розвитку суспільства [1].

Сонячна радіація це невичерпне поновлюваний джерело екологічно чистої енергії. На Землю потрапляє незначна частка випромінюваної Сонцем енергії, причому 95 % з неї - це короткохвильове випромінювання в діапазоні довжин хвиль від 0,3 до 2,4 мкм. До верхньої межі атмосфери Землі за рік досягає потік сонячної енергії в кількості $5,6 \cdot 10^{24}$ Дж. Атмосфера Землі відбиває 35 % цієї енергії, тобто $1,9 \cdot 10^{24}$ Дж, назад у космос, а інша енергія витрачається на нагрівання земної поверхні (близько $2,4 \cdot 10^{24}$ Дж), випарно-осадовий цикл (близько $1,3 \cdot 10^{24}$ Дж) і утворення хвиль в морях і океанах, повітряних та океанських течій і вітру (близько $1,2 \cdot 10^{22}$ Дж). Потужність потоку сонячного випромінювання біля верхньої межі атмосфери Землі дорівнює $1,78 \cdot 10^{17}$ Вт, а на поверхні Землі $1,2 \cdot 10^{17}$ Вт [2].

Виснаження викопних енергоресурсів і труднощі вирішення екологічних проблем призводять до пошуку нових, нетрадиційних методів одержання енергії.

Актуальність роботи полягає в дослідженні мобільних автоматичних енергетичних установок для перетворення сонячної променевої енергії в електричну.

Рішення даної проблеми вимагає глибокого опрацювання питань стеження за Сонцем і орієнтації фотоелементів в напрямку на Сонце в умовах випадкового, тимчасового затінення за погодними умовами в будь-який час року, для різних умов місцезосташування, на різних географічних широтах.

Енергетична установка повинна бути мобільною. Така установка особливо необхідна в місцях віддалених від великих населених селищ, гірських місцевостях, а також на маломірних річкових і морських суднах. Більш потужні установки можуть служити для живлення рухових установок невеликої потужності, наприклад для човнів, коли доставка палива скрутна.

При затіненні Сонця з датчика кутових координат перестають надходити дані про положення Сонця, а при появі Сонця, кути неузгодженості можуть перевищувати межі лінійної зони діаграми спрямованості кутового датчика. У цьому випадку найважливішу роль відіграють можливості екстраполяції положення Сонця на період затінення, вибір принципу роботи кутового датчика, конструкції, його параметрів, діаграми спрямованості, а також електроприводу та інших елементів системи стеження.

Важливу роль у вирішенні проблеми автоматичного управління відіграє екстраполюючий пристрій. Він в значній мірі впливає не тільки на точність роботи в замкнутому і розімкнутому режимі в процесі стеження, але також і на перехідні процеси при переході від одного режиму роботи до іншого, тому система аналізується в цілому, з урахуванням впливу всіх елементів.

Екстраполятор служить для вироблення точного стеження в замкнутому режимі і для екстраполяції сигналу під час переривання. Система в цей час працює в розімкнутому режимі за запам'ятованими сигналами екстраполятора.

Мета і завдання дослідження. Метою даної роботи є дослідження і розробка автоматичної системи стеження за положенням сонця з екстраполяцією в умовах можливого, тривалого затінення.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі завдання:

1. Аналіз засобів перетворення сонячної енергії в електричну.
2. Аналіз автоматизованих сонячних енергетичних установок.
3. Дослідження пелюсткових датчиків кутових координат сонячної енергетичної установки, їх принципи побудови та режим стеження за сонцем.
4. Дослідження системи стеження з астатизмом високих порядків - точності екстраполяції, стійкості, перехідних процесів в умовах замкнутого і розімкнутому режиму роботи для різних інтервалів часу переривання по сигналу помилки з кутових датчиків.
5. Розробка комбінаційної, тобто замкнутої і розімкнутої системи (в умовах переривання сигналу помилки при затіненні)

Об’єкт дослідження: процес стеження за Сонцем із можливістю прогнозування його положення при затіненні.

Предмет дослідження: положення Сонця при зміні розташування приймача випромінювання.

Наукова новизна отриманих результатів.

- Розроблено алгоритми екстраполяції траєкторії сонця. Проведена екстраполяція траєкторії сонця на основі поліномів Ньютона за сигналом помилки в замкнутому контурі управління.

- Запропоновано алгоритми керування з екстраполяцією траєкторії руху сонця при його затіненні при яких точність позиціонування та ефективність генерування електроенергії більша ніж у аналогів.

- Розроблена система автоматичного спостереження із застосуванням екстраполяції дозволяє краще відпрацьовувати помилки позиціонування системи при її розгортанні в умовах різних географічних широт, не потребує стороннього втручання в роботу, тобто робить її більш простою і автономною в експлуатації.

Практичне значення отриманих результатів роботи полягає у розробці енергоефективної мобільної енергетичної установки, яка забезпечує стеження за сонцем тривалого переривання при затіненні сонця хмарами.

Апробація. Результати досліджень за темою кваліфікаційної роботи були представлені на ІХ Міжнародна науково-технічна конференція молодих учених та студентів «Актуальні задачі сучасних технологій», 25-26 листопада 2020 року. ТНТУ [3].

Структура роботи. Робота складається зі вступу, 4 розділів, висновків, переліку посилань (12 найменувань).

Загальний обсяг текстової частини – 80 сторінок, 4 таблиці, 36 рисунків.

1 АНАЛІТИЧНИЙ РОЗДІЛ

1.1 Сонячні енергетичні установки з системою стеження. Класифікація

Існує досить багато пристроїв у вигляді детально розроблених установок перетворення сонячної світлової енергії в електричну. Найбільш відомі установки з використанням фотоефекту [1].

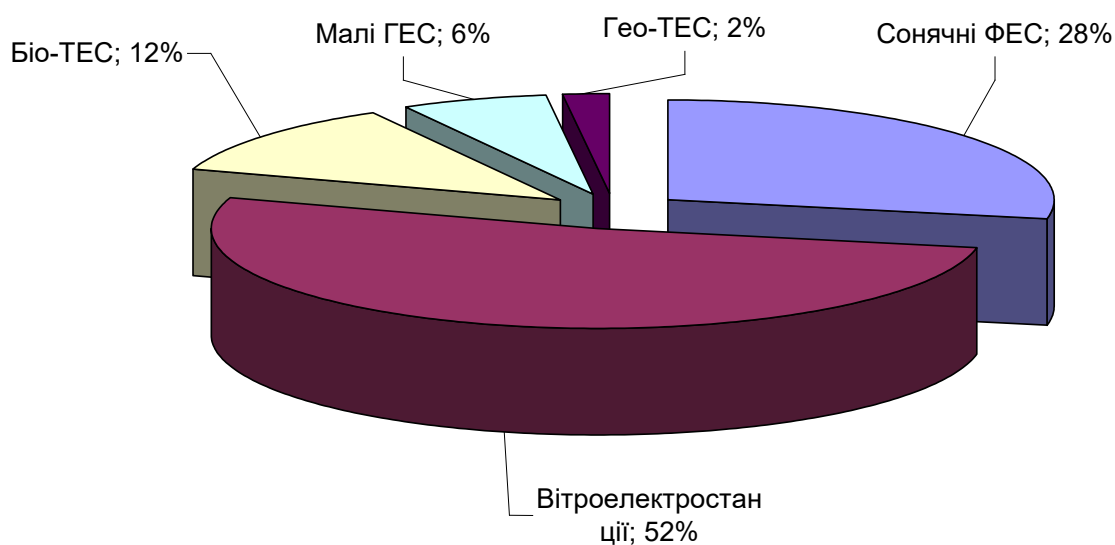


Рисунок 1.1 - Використання сонячної енергії Землі 1995-2008 і порівняння з іншими типами енергії

Розрізняють установки, що використовують концентрацію сонячних променів за допомогою дзеркальних відбивачів, які концентрують лінзи і установки з розподіленими по площі батареями - фотоелектричними пластинами.

Ці установки розрізняються по ефективності перетворення світлової енергії, ступеня складності, вартості, габаритах, по вазі і по мобільності переміщення з одного місця в інше. Іншим важливим чинником використання сонячних енергетичних установок є автономність роботи в мінливих територіальних і погодних умовах. Тому розглянемо кілька типів енергетичних установок з метою пошуку можливого прототипу, оскільки проблема в цілому

є складною, вимагає практичного і теоретичного опрацювання фізичних і конструкторських проблем автоматичного спостереження по кутах за положенням Сонця в умовах тривалого затінення для різних географічних широт і забезпечення найбільшої енергетичної ефективності сонячної установки.

Класифікація сонячних енергетичних установок.

Сонячні енергетичні установки розрізняються за принципом перетворення сонячної енергії і підрозділяються на теплові установки та електричні. Можлива також і комбінація теплових та електричних установок (рис. 1.2).



Рисунок 1.2 - Класифікація сонячних енергетичних установок

Установки розрізняються і за способом перетворення сонячних променів. Існують сонячні енергетичні установки з дзеркальними концентраторами, з направленням потужних пучків променевої енергії на об'єкт перетворення енергії в тепло або в електричний струм. У нашому випадку розглядаються енергетичні установки без концентраторів. Сонячні промені направляються на батарею фотоелектричних панелей. Установки

такого роду в свою чергу поділяються на установки з нерухомими панелями і автоматичними системами з стеженням за Сонцем і напрямлення панелей фотоелементів на Сонце.

Для автономної, мобільної установки перетворення сонячної енергії в електричний струм найбільш придатною є автоматична установка з слідкуючим приводом батарей фотоелектричних панелей.

1.2 Сонячні енергетичні установки на фотоелектричних модулях

1.2.1 Автоматизована сонячна установка

В основі проблем, що вирішуються даною установкою, описаної в патенті Сидоренко В.П. та ін [4, 5] є підвищення точності орієнтації сонячної панелі та підвищення ефективності використання теплового випромінювання в механізмі приводу сонячної панелі.

Для цієї мети сонячна установка, що містить сонячну панель, має щонайменше два телескопічних термоприводи і світловідбиваючий екран, забезпечена віссю обертання, на якій встановлена сонячна панель з можливістю переміщення уздовж осі і двохланковим передавальним механізмом, одна з ланок якого з'єднана з віссю, термоприводи закріплені до сонячної панелі паралельно її площині з можливістю взаємодії з іншою ланкою передавального механізму, а екран поміщений між термоприводом.

Точність орієнтації сонячної панелі та підвищення ефективності використання теплового випромінювання досягається тим, що в сонячну установку, що містить сонячну панель, два телескопічних термоприводи і термовідбиваючий екран, введена вісь, на якій встановлена сонячна панель з можливістю обертання і подовжнього переміщення відносно осі, і дволанковий передавальний механізм, одна з ланок якого з'єднана з віссю, термоприводи закріплені на сонячній панелі паралельно її площині з можливістю взаємодії з іншою ланкою передавального механізму, а екран поміщений між термопривідом.

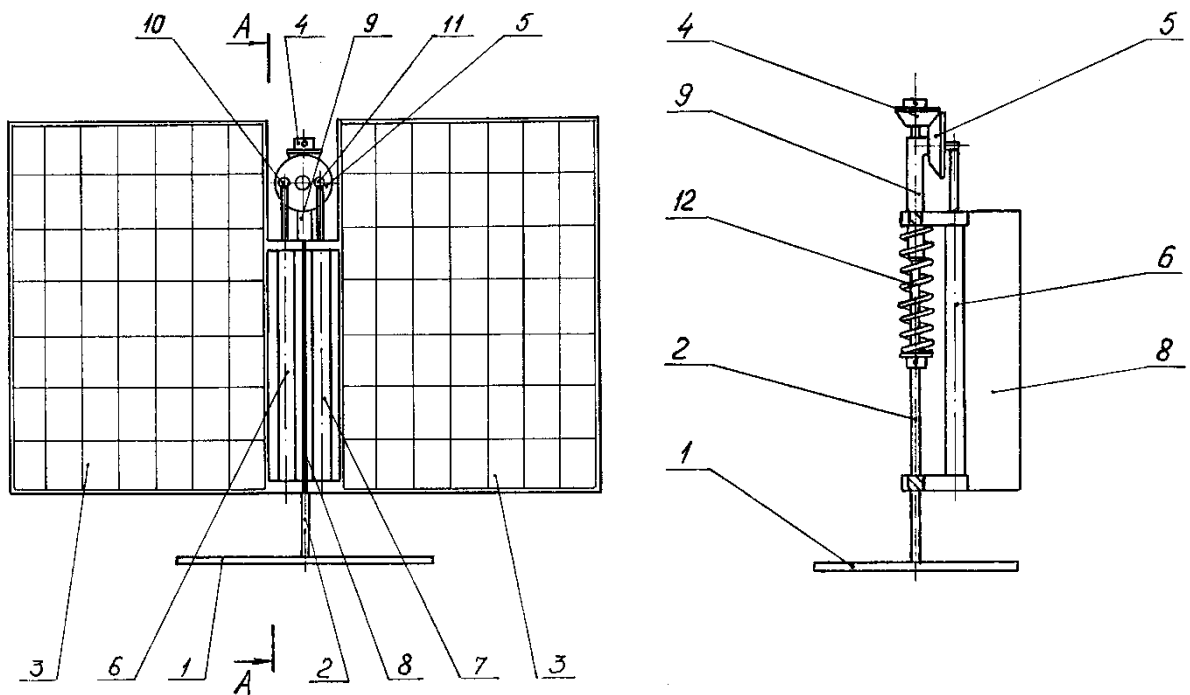


Рисунок 1.3 - Сонячна енергоустановка

На рис. 1.3 (а) показаний загальний вигляд сонячної установки.

На рис. 1.3 (б) розріз по А-А рис. 1.3 (а) (сонячна панель умовно не показана).

Установка працює наступним чином.

У вихідному положенні вісь обертання 2 встановлюється перпендикулярно площині екліптики, а площину сонячної панелі 3 в напрямку на південь.

При освітленні сонячної панелі 3 боковим освітленням вранці або ввечері сонячні промені потрапляють на світлопоглинаючу поверхню одного з термоприводів, наприклад 6.

Інший термопривід 7 при цьому знаходиться за екраном 8, не піддаючись сонячному опроміненню. Через що виникає при цьому різниця температур на поверхнях термоприводів 6 і 7 відбувається висування штока термоприводу 6 в більшій мірі, ніж термоприводу 7.

Штоки термоприводів 6 і 7, впливаючи на упори 10 і 11, повертають шестерню 5 за годинниковою стрілкою.

Шестерня 5, обкатується навколо шестерні 4, повертає через втулку 9 сонячну панель 3 разом із закріпленими на ній термоприводами 6 і 7 і екраном 8 у напрямку до Сонця до тих пір, поки не почне освітлюватися Сонцем термопривід 7, а термопривід 6 не почне затінюють екраном 8. У цьому положенні сонячна панель 3 зупиниться, так як не буде відбуватися подальшого збільшення різниці температур термоприводами 6 і 7.

Добові та сезонні коливання температури повітря компенсуються подовжнім переміщенням сонячної панелі уздовж осі 2, не викликаючи при цьому її повороту.

Точність орієнтації сонячної панелі в запропонованому пристрої більше, ніж у прототипу, розглянутого раніше [5]. Це пояснюється тим, що термоприводи розташовані безпосередньо на рухомій сонячній панелі і характер опромінення визначається шириною екрану і орієнтацією його по відношенню до Сонця, а отже і орієнтацією панелі на якій встановлено екран.

Крім того, в запропонованому пристрої більш ефективно використовується тепла енергія Сонця, оскільки осі термоприводів, незалежно від орієнтації сонячної панелі, постійно спрямовані перпендикулярно сонячному потоку, це підвищує точність орієнтації.

Недоліком даної моделі є низька перешкодостійкість при тривалому затіненні Сонця хмарами, оскільки термопривід в тіні охолоджується і відводить панель від напрямку на Сонці. Тому в реальних умовах установка в автономному режимі працює незадовільно.

1.2.2 Сонячна електростанція

Сонячна електростанція Прокопова О.І. і Ярмухаметова У.Р [4, 6] (рис. 1.4). Вона складається з вертикального вала з приводом обертання, на верхньому кінці якого встановлений горизонтальний вал з симетричними ексцентричними направляючими, які контактують з синусоїдальним пазом жорстко закріпленого горизонтального кільця.

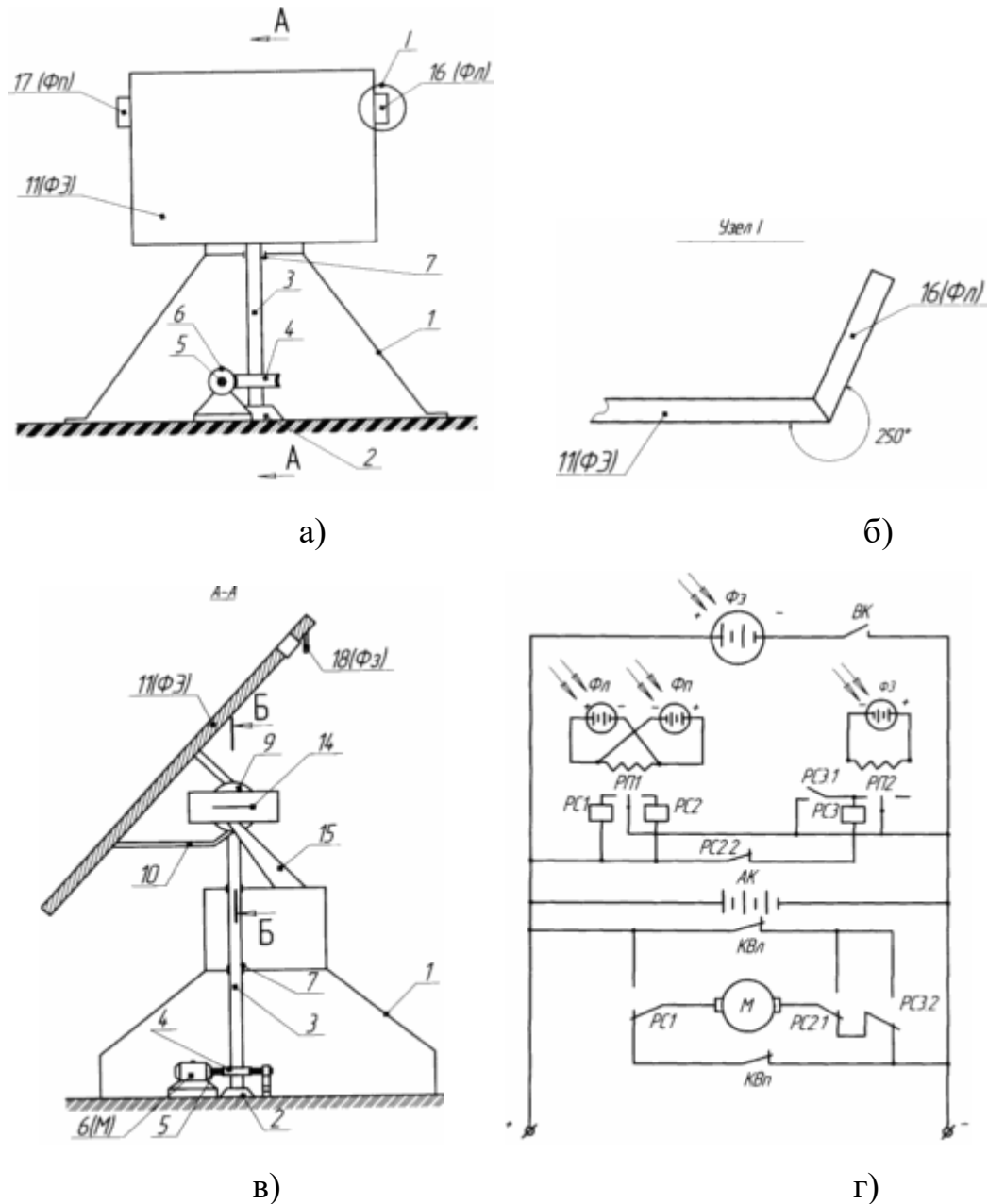


Рисунок 1.4 - Сонячна електростанція Прокопова О.І.

На рис. 1.4 (а) показаний загальний вигляд сонячної електростанції.

На рис.1.4 (б) - вузол І.

На рис 1.4 (в) - перетин по А-А.

На горизонтальному валу жорстко закріплена сонячна фобатарея з системою автоматики азимутального повороту. При азимутному повороті вертикального вала горизонтальний вал своїми направляючими, взаємодіючи з синусоїдальною пазом горизонтального кільця, здійснює поворот на 45° в одну

або іншу сторону при русі по пазу, відповідно ранок-полудень-вечір, чим забезпечується зенітальне стеження за Сонцем фотобатарей станції.

Сонячна електростанція призначена для роботи, як в сонячну, так і в похмуру погоду. Вона має систему повороту валів орієнтації фотобатарей на Сонце.

Система автоматики зенітального повороту виконана у вигляді жорстко закріпленого горизонтального кільця на згаданій рамі, всередині кільця виконаний один синусоїдальний паз, горизонтальний вал по кінцях оснащений симетричними ексцентричними направляючими, які входять в синусоїдальний паз.

Цей паз виконаний так, що його амплітуда менше радіуса вала, щоб ексцентричні направляючі відхилялися на кут 45° в одну або іншу сторону при русі по пазу

Стеження за переміщенням Сонця здійснюється за допомогою пристрою (рис. 1.5) за фіксованою траєкторії.

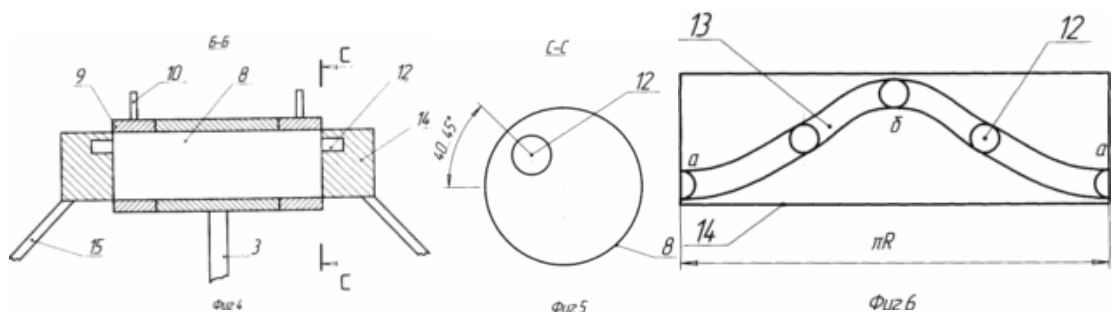


Рисунок 1.5 - Пристрій стеження за Сонцем

Електростанція працює таким чином:

Сонячна фотобатарея «ФЕ» електростанції орієнтується на сонячні світлові промені і виробляє розрахункову електричну енергію по напрузі і постійному струму. При включеному вимикачі «ВК» забезпечує електроживленням споживача і виробляється зарядка акумулятора «АК», який при падінні напруги на фотобатарей «ФЕ», наприклад, при хмарності або вночі, забезпечує споживача електроживленням.

З ранку починається зенітальні і азимутальні переміщення Сонця. Сонце змінює азимутальні положення протягом дня від сходу до заходу. У цьому випадку відбувається збільшення кута падіння сонячних променів на правий фотоелемент «Фп» і затемнення лівого фотоелемента «Фл».

Правий фотоелемент виробляє струм, який подається на обмотку реле «РП1», остання спрацьовує і замикає якір «РП1» на лівий контакт і ставить під струм обмотку виконавчого реле «РС 1», яка розмикає свої нормально замкнуті контакти і замикає нормально розімкнені контакти «РС 1.1», тим самим ставить під струм реверсивний привід « М » (6). Останній через черв'ячний вал 5 і зубчасте колесо 4 обертає вертикальний вал 3 вправо і розгортає всю станцію по азимутальному положенню Сонця.

При азимутному вирівнюванні обидва фотоелемента «Фп» і «Фл» під малим кутом до сонячних променів виробляють однакові малі струми, які врівноважуються на обмотці «РП1», остання знеструмлюється і опускає свій якір «РП1». Коло живлення виконавчого реле «РС1» знеструмлюється, яке відпускає свій контакт «РС1» і знеструмлює привід «М» (6). Азимутальний поворот станції припиняється. При подальшій азимутній зміні положення Сонця операція повторюється до заходу Сонця.

При азимутному повороті вертикального вала 3 направо, з ранку до полудня відповідно він виробляє поворот горизонтального вала 8, який своїми направляючими 12 ковзає по внутрішньому синусоїдальному пазу 13 нерухомого горизонтального кільця 14. При цьому направляючі 12 по амплітуді верхньої та нижньої синусоїди паза 13 з положення «а» в положення «б» піднімаються вгору і повертають вал 8 на 90° , відповідно через кронштейни 10 повертається сонячна фотобатарея 11 (ФЕ) з вертикального положення в горизонтальне. Тим самим забезпечується зенітальне стеження за Сонцем в першу половину дня.

У другій половині дня триває азимутальне стеження за Сонцем. Відповідно продовжується поворот горизонтального вала 8, який своїми направляючими 12 ковзає по внутрішньому синусоїдальному пазу 13 з верхньої

амплітуди синусоїди на нижню амплітуду синусоїди і вал 8 розгортається у зворотний бік на 90° до заходу Сонця. Описаним чином розгортається сонячна фотобатарея 11 (ФЕ) з горизонтального положення у вертикальне, чим забезпечується зенітальне стеження за Сонцем в другій половині дня.

Електростанція ночує «задом» на схід.

Недоліком світлової електростанції є низька точність при переміщенні установки по часу року і по широкій місцевості, де використовується дана установка і, як наслідок, недовикористання можливостей збільшення електричної потужності освоєння сонячної енергії.

1.2.3 Панель сонячної батареї конструкції Буркова Л.М.

Дана панель сонячної установки може служити основою при створенні нових механізмів енергетичних сонячних батарей і служить в якості вихідної конструкції для даної роботи [5, 7].

Наведемо короткий опис панелі у викладі автора даної конструкції

Вона складається з вертикальної стійки, рами і власне сонячних батарей. Панель встановлена шарнірно на центральній стійці і може незалежно обертатися в двох взаємно перпендикулярних площинах за рахунок установки двох дуг по 180° .

Для очищення поверхні панелі передбачена циліндрична щітка з можливістю обертання навколо поздовжньої осі і рухи вверх-вниз по панелі. Таке виконання панелі розширює її технологічні можливості: полегшує регулювання кута нахилу у двох взаємно перпендикулярних площинах і дозволяє проводити очищення поверхні панелі від пилу і атмосферних опадів, що погіршують якість роботи батарей.

На рис. 1.6, а дано фронтальний вид на панель сонячної батареї. На рис. 1.6, б дано вигляд зверху на панель. На рис. 1.6, в дано вид по стрілці А ззаду панелі, що дає привід на щітку і положення лебідки. На рис. 1.6, г дано перетин Б-Б з рис. 1.6, а, що показує конструкцію лебідки. На рис. 1.6, д дано вид по

стрілці Д, який показує дугу в поздовжньо-вертикальній площині і телескопічну тягу в цій же площині.

Влаштована панель сонячної батареї таким чином: рама 1 виконана у вигляді прямокутника з співвідношення сторін $a / b = 1,618$, де a - мала сторона рами, b - велика сторона рами. Поздовжні ребра 2 і поперечні ребра 3 рами 1 утворюють комірки з таким же співвідношенням сторін.

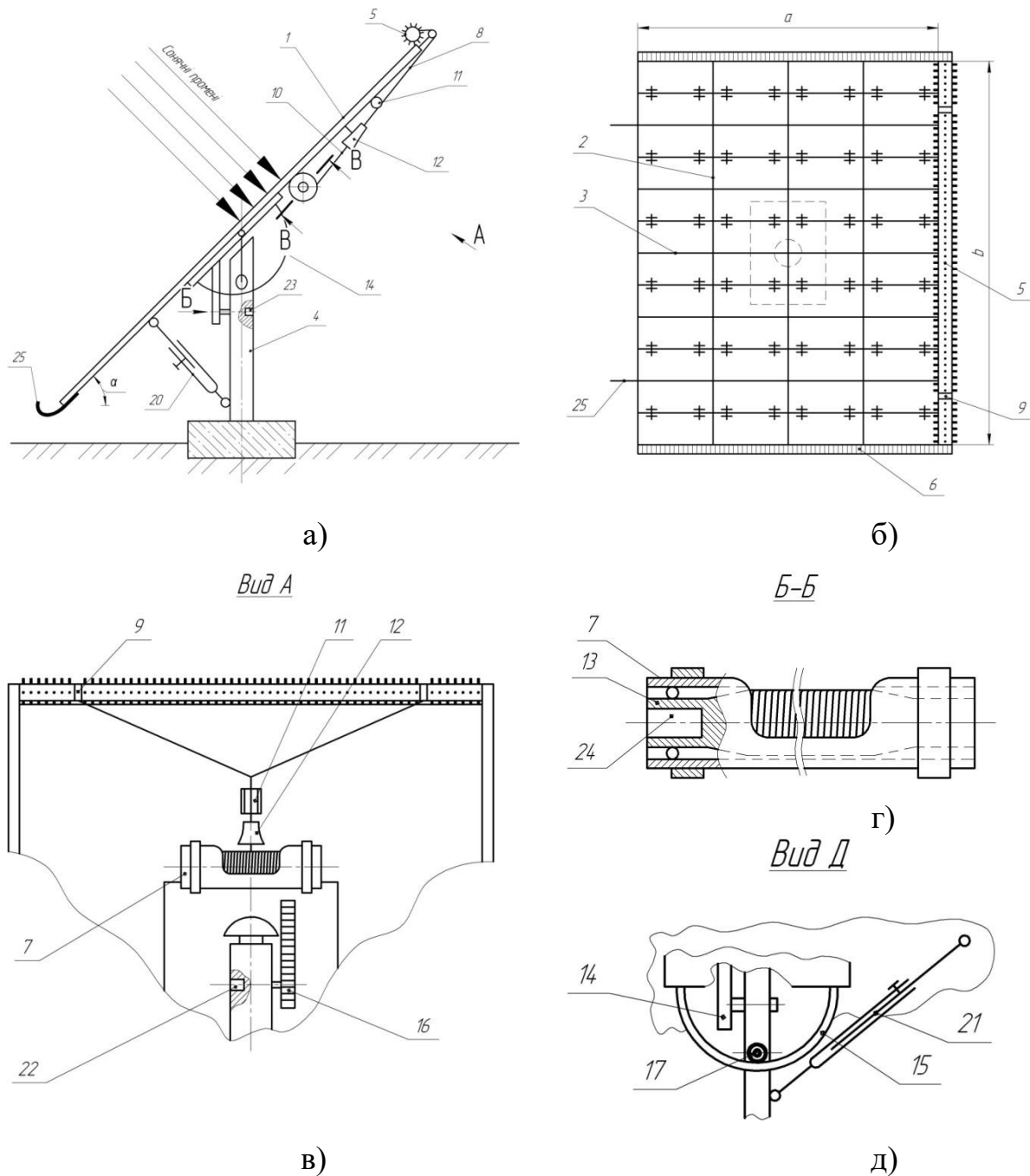


Рисунок 1.6 - Панель сонячної батареї конструкції Буркова Л.М.

Рама 1 встановлена шарнірно на центральній опорі 4 з можливістю незалежного повороту в двох взаємно перпендикулярних площинах: поперечно-вертикальній і поздовжньо-вертикальній.

Зверху рами 1 встановлена циліндрична щітка 5 із можливістю обертання навколо поздовжньої осі за рахунок шестерно-рейкової передачі 6, змонтованої на обох торцях щітки 3.

Щітка має можливість рухи ввєрх-вниз по панелі за рахунок, встановленої із зворотного боку рами, лебідки 7. Вона має еластичний тяговий елемент 8, який з'єднується з двома симетрично встановленими по краях щітки 5 кільцями 9 з можливістю їх обертання.

Еластичний тяговий елемент 8 у місці приєднання до кілець роздвоюється, а потім з короткої сторони рами 1 знову з'єднується в одну нитку 10. Ця нитка входить у паз ролика 11, встановленого знизу панелі, і потім проходить через направляючу трубку 12 і жорстко приєднується до барабана 13 лебідки 7.

Зі зворотного боку рами 1 встановлено дві дуги 14 і 15 по 180° з зубцями по внутрішній поверхні у взаємно перпендикулярних площинах різного радіусу. На центральній стійці 4 встановлено дві прямозубі шестерні 16 і 17, які зчіплюються відповідно з зубчастими поверхнями двох дуг 14 і 15 для забезпечення повороту панелі в двох взаємно перпендикулярних площинах.

Елементи батареї встановлені жорстко на прямокутних підставах 18.

На центральній стійці 4 шарнірно закріплені нижні кінці двох телескопічних тяг 20 і 21 в двох взаємно перпендикулярних площинах. Верхні кінці також шарнірно закріплені на рамі 1 для фіксації панелі під обраним кутом нахилу в цих площинах.

Кожна шестерня 16 і 17 із зворотного боку установки забезпечена гніздами 22 і 23 прямокутного перерізу, жорстко з'єднаними з шестернями. Аналогічне гніздо 24 виконано і на торці барабана 13 лебідки 7.

Для утримання щітки в нижньому положенні до рами жорстко прикріплені два тримачі 23 з напівкруглими зажимами. Накладки 26 і 27 жорстко прикріплені до основи 18 і плоскими пружинами 19.

Робота панелі полягає в тому, що її спочатку необхідно встановити під необхідними кутами нахилу, що досягається послідовним обертанням шестерень 16 і 17 і послідовної установкою дуг 14 і 15, після того як той чи інший кут нахилу панелі встановлений, його фіксують відповідною телескопічною тягою 20 і 21.

Якщо виникає необхідність після випадання опадів або при сильній запиленості панелі, запускають щітку 5.

Основні положення - досягнення в області створення сонячних батарей на основі тонкоплівкових технологій дозволяють створювати надійні і дешеві сонячні елементи з малою масою і ставити питання створення автономних, легких по вазі установок. При цьому питання підвищення ККД вирішується шляхом створення дешевої малогабаритної мікросистеми управління сонячним перетворювачем [8].

Для забезпечення високого ККД площа сонячної батареї повинна бути перпендикулярна сонячним променям. За допомогою системи стеження можна отримати максимальну потужність при мінімальній площі батарей.

Цифрова система стеження служить для перетворення цифрових сигналів, що є результатом обчислень керуючої цифрової обчислювальної машини, в кутові механічні переміщення. Функціональна схема цифрової системи стеження, згідно з описом установки Буркова, показана на рис. 1.7, 1.8. На рисунку прийняті наступні позначення: АЦП - аналого-цифровий перетворювач; \oplus - цифровий порівнюючий пристрій; ϵ - цифрове неузгодження; W_p - блок процесора, який складається з мікропроцесора, оперативного запам'ятовуючого пристрою (ОЗП), програми, таймера і т.д., W_k - блок контролера; $W_{дв}$ - блок двигуна; $W_{ос}$ - блок зворотного зв'язку.

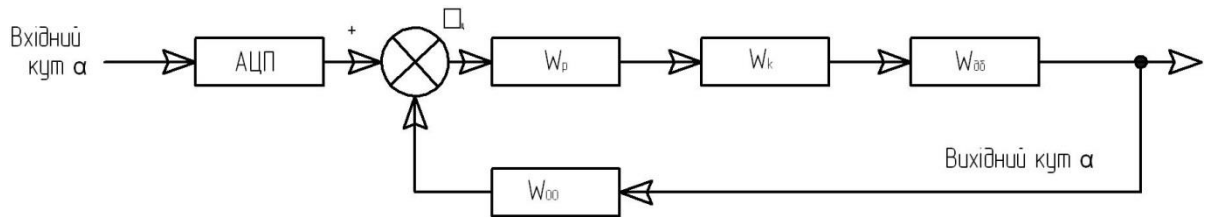


Рисунок 1.7 - Функціональна схема системи стеження

В якості сигналу помилки служить кут відхилення падіння сонячних променів від нормалі на фоточутливий шар сонячної батареї і використовується кроковий мікродвигун, керований контролерами реалізованими на базі мікропроцесора. Положення Сонця в півпросторі визначає за допомогою трьох датчиків координат з урахуванням часу доби.

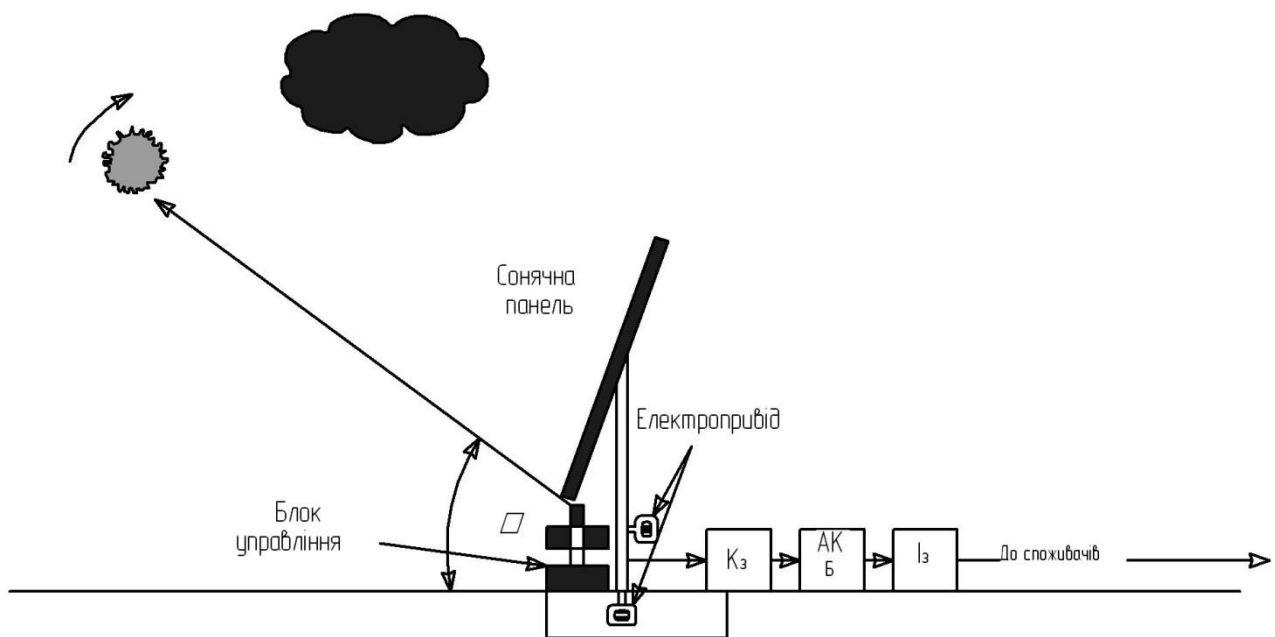


Рисунок 1.8. Загальний вигляд установки на місцевості

Система порівнює поточний кут (між горизонтальною лінією і положенням Сонця). Якщо цифрова неузгодженість $\epsilon_{ц}$ має місце, то система працює в звичайному режимі стеження.

Але якщо раптом Сонце покриється хмарами, тоді включається таймер і система стеження працює в розімкнутому режимі до появи Сонця.

Використання мікропроцесорної системи дозволяє підвищити ефективність системи.

Недоліком системи є низька точність датчиків кутів, що не дозволяє застосувати екстраполяцію при тривалому безперервному затіненні Сонця.

1.3 Висновки до розділу

1. На шляху практичної реалізації фотоелектричного методу перетворення сильно концентрованого сонячного випромінювання виникає проблема розробки і створення високоефективних дешевих і простих у виготовленні сильно концентруючих концентраторів сонячного випромінювання.

2. Слідкування геліоприймачів сонячної установки за положенням Сонця вимагає підвищеної точності орієнтації сонячної панелі, що є досить складним завданням.

3. Конструкція сонячної установки, що містить сонячну панель, встановлену на осі обертання відрізняється простотою, однак складність і трудомісткість її обслуговування, пов'язані з необхідністю щоденного підняття вантажу та налаштування гідравлічного регулятора по швидкості обертання панелі обмежують її використання в сонячних геліоустановках.

4. Перевагою сонячної установки, що містить сонячну панель, два телескопічних термоприводи і світловідбиваючий екран є простота обслуговування. Телескопічні терморегулятори, заповнені рідиною з великим коефіцієнтом об'ємного розширення, при нагріванні від сонячного випромінювання автоматично орієнтують сонячну панель перпендикулярно сонячному випромінюванню. Але вона має невисоку точність орієнтації панелі, особливо в умовах тимчасового затінення Сонця хмарами і недостатньо ефективно використовує теплову енергію Сонця.

5. Сонячна енергетична установка з застосуванням електроприводу орієнтації батареї на Сонце, дозволяє виробляти значно більше електричної енергії на відміну від нерухомих батарей.

2 ПРОЕКТНО-КОНСТРУКТОРСЬКИЙ РОЗДІЛ

2.1 Технічне обґрунтування структури системи і вибір основних елементів сонячної установки

2.1.1 Постановка завдання

Автоматизована сонячна енергетична установка призначена для побутових цілей повинна працювати в самих різних умовах. Вона особливо необхідна в місцях віддалених від великих населених пунктів, гірських місцевостях, а також на маломірних річкових і морських суднах.

Сонячна установка повинна забезпечувати енергією в першу чергу засоби зв'язку та інші інформаційні засоби. Більш потужні установки можуть служити для живлення рухомих установок невеликої потужності, наприклад, для маломірних суден, коли доставка палива ускладнена.

Використання сонячної енергетичної установки доцільно в першу чергу для місць з великою кількістю сонячних днів. Для підвищення ефективності перетворення променевої енергії Сонця в електричну необхідна автоматична система кутового стеження за Сонцем.

Установка повинна бути автономною, мобільною, монтуватись на транспорті.

Допустима вага установки з акумуляторами не повинна перевищувати 200 кг.

Помилка орієнтування при початковій установці на місцевості повинна бути по просторових кутах відносно початкового напрямлення на Сонце до ± 15 градусів.

Допустимий час безперервного затінення Сонця до двох-трьох годин.

Затінення Сонця є одним з основних джерел перешкод для автономної роботи сонячної установки. З цієї причини можлива втрата режиму безперервного спостереження. У разі затінення найважливішу роль відіграє екстраполяція кутового положення Сонця.

Проблема створення автоматизованої, захищеної від перешкод затінення, сонячної енергетичної установки має кілька аспектів: це проблема вибору чутливих елементів, проблеми вибору конструкції, проблеми вимірювання безупинно мінливих кутів положення Сонця і автоматичного стеження за Сонцем в умовах тривалого затінення, проблеми реалізації алгоритмів управління та електроприводу кутового переміщення панелей.

Для вирішення конструктивних проблем обраний прототип - установка сонячної батареї конструкції Буркова Л.М., захищена патентом 13.01.2005 року [7]. Однак дана установка не задовольняє всім вимогам до автономної роботи системи. Використання лінійного таймера в разі тривалого затінення призводить до помилок більше допустимих. Основною причиною є низька точність кутових датчиків, в результаті неможливе застосування точної екстраполяції кутового положення Сонця при тривалому затіненні.

2.1.2 Аналіз експериментального дослідження робочого струму елемента сонячної батареї по кутах

Для експериментального дослідження використана наступна автономна установка на рис. 2.1.

Експеримент проводився в смузі середніх широт в літній час при сонячній погоді. Результати вимірювання величини струмів в залежності від кутів відхилення від вертикалі площини панелі представлені на рис. 2.2.

Аналіз інтегральної залежності виміряного струму нерухомої площини сонячної батареї в межах усього світлового дня показує, що енергія Сонця найбільш повно засвоюється тільки в середині дня, в цілому ж засвоюється тільки 50 % енергії від максимально можливої. При стеженні за переміщенням Сонця по азимуту і куту місця можна збільшити струм батареї панелей сонячної установки на 80 %.

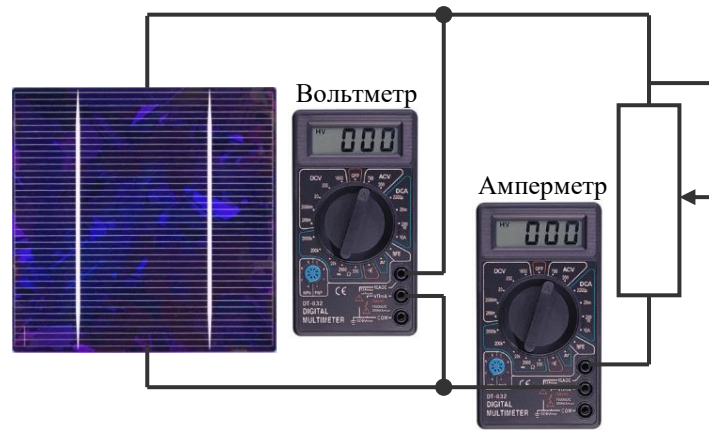


Рисунок 2.1 - Схема установки дослідження сонячної батареї

Ці порівняльні енергетичні показники для установок з фіксованим положенням площини панелей і панелей з автоматичним стеженням за Сонцем можуть бути ще більш значущими при врахуванні просторових кутів на середніх широтах.

На рис. 2.2 позначимо площу S_1 вимірних струмів з фіксованими кутами показана під кривою вимірних струмів, S - загальна площа у формі прямокутника означає суму максимально можливих величин вимірних струмів при направленні вертикалі площини фотоелементів на Сонце протягом світлового дня. Пунктиром позначені реальний вимірні струми за рахунок зміни рівня випромінювання на протязі доби з урахуванням втрат на живлення електроприводу. Площу сумарного струму позначимо S_p .

Коефіцієнт корисної дії визначається за співвідношенням площ сумарних струмів. В ідеальному випадку без урахування зниження рівня радіації і втрат на електропривід.

$$ККД_1 = (S - S_1) / S = 80 \%$$

З урахуванням стеження радіації із втратами на електропривід

$$ККД_2 = (S_p - S_2) / S_p = 70 \%$$

де $S_2 = S - S_3$,

S_3 - площа між суцільною і пунктирною кривою.

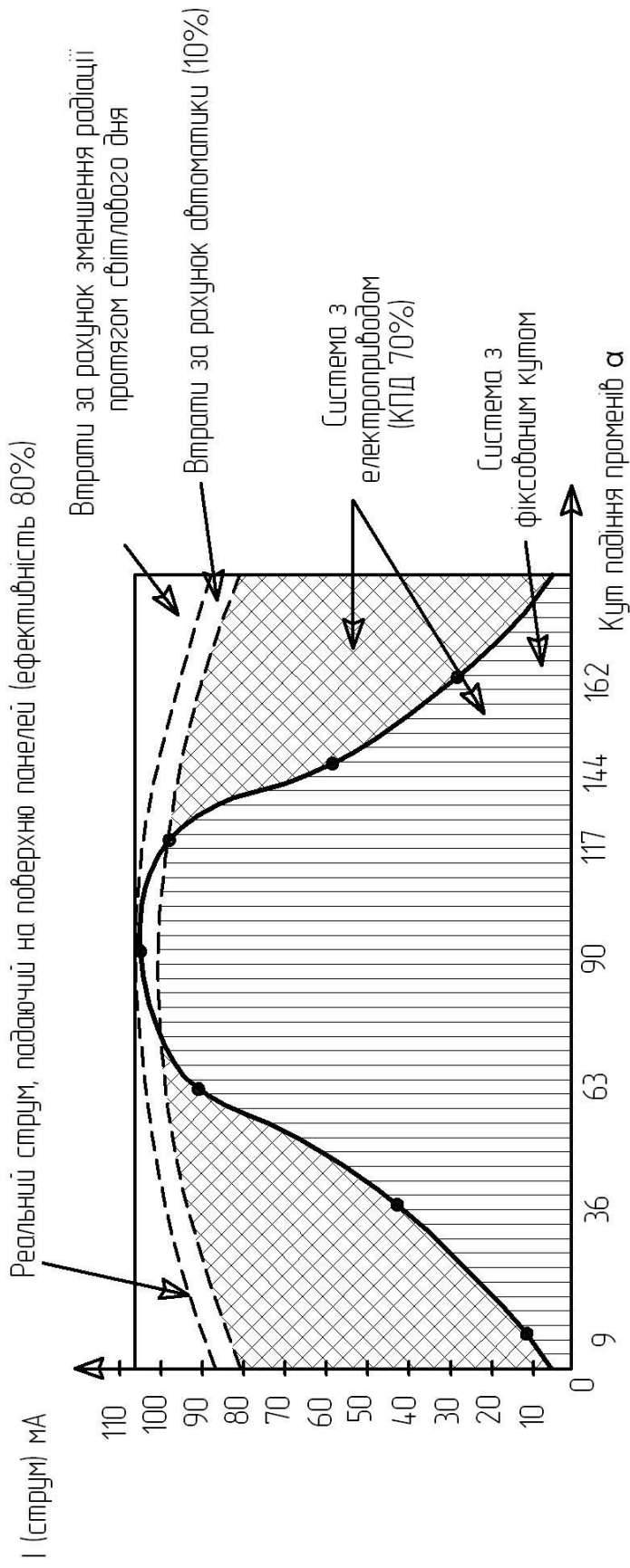


Рисунок 2.2 - Графік залежності величин струму від кута падіння променів Сонця

2.1.3 Поступлення сонячної енергії на сонячні батареї

Як зазначається в [9], «для стаціонарних малопотужних сонячних енергоустановок, встановлюваних наприклад, на дахах будинків, найбільш ефективним є фіксований сонячний колектор. Так як фіксований колектор не є слідкуючим пристроєм, то його орієнтація відіграє особливо важливу роль в ефективності всієї установки. Очевидно, сонячний колектор повинен бути орієнтований таким чином, щоб за весь час його використання він отримував найбільшу сумарну енергію Сонця. Густина сонячного випромінювання, що надходить на сонячний колектор, визначається» за формулою:

$$S_K = \sum [S_{ni} \cos \alpha_i \cos \gamma_{ci} - \gamma \sin \beta + S_{ni} \cos \beta], \quad (2.1)$$

де S_K - сумарна за рік густина сонячного випромінювання на панель з параметрами орієнтації γ і β , Вт/м²;

S_{ni} - густина сонячного випромінювання на перпендикулярну до нього площадку за i -тий проміжок часу, Вт/м²;

β - кут нахилу над горизонтом;

γ - кут нахилу;

α_i - середній кут Сонця над горизонтом в i -тий період часу, град;

γ_{ci} - середній азимут Сонця за i -тий період часу, рад.

2.1.4 Автономна сонячна енергоустановка з автоматичним стеженням за Сонцем

Дана сонячна установка призначена для побутових цілей у випадку коли енергопостачання здійснити важко. Механічна конструкція пропонованої установки досить надійна при роботі в будь-яких умовах погоди і географічних широтах. Перевага конструкції також і в тому, що передбачена циліндрична щітка, що очищає пил і бруд.

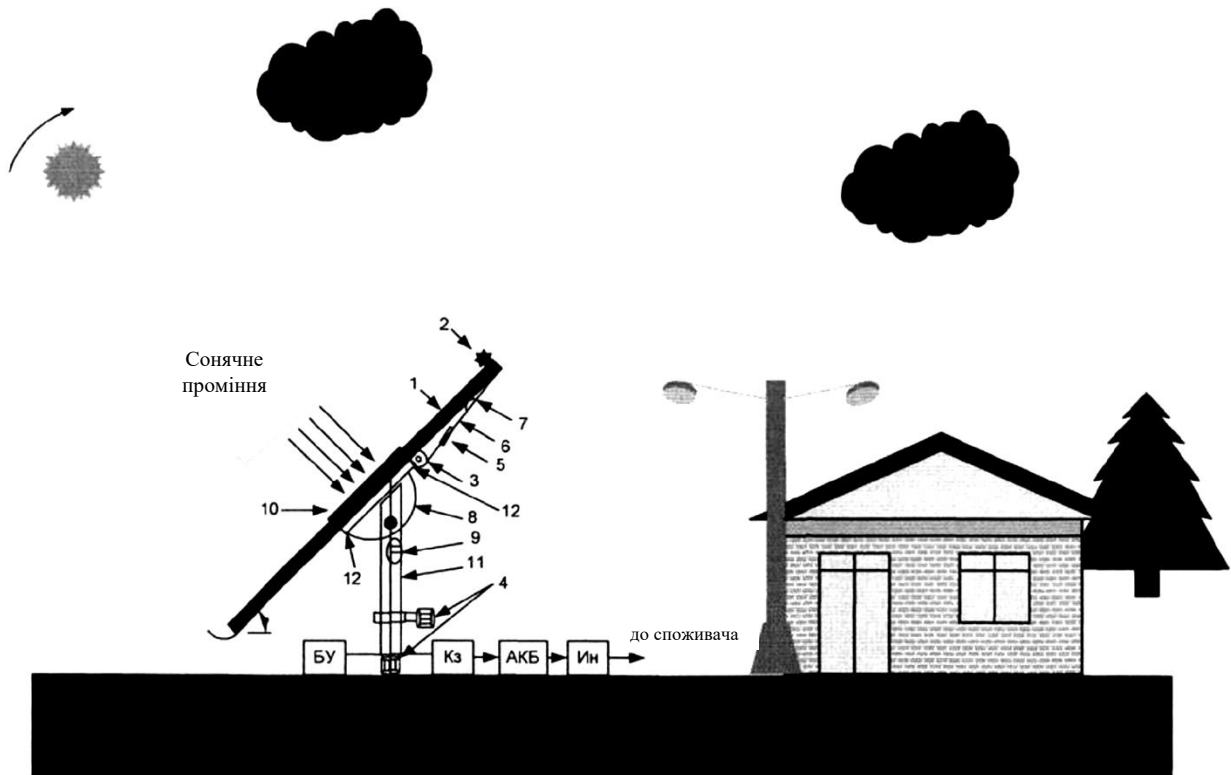


Рисунок 2.3 - Сонячна установка на місцевості

1 - сонячна панель; 2 - циліндрична щітка; 3 - конструкція лебідки; 4 - крокові електродвигуни; 5 - трубка; 6 - еластичний тяговий елемент; 7 - паз ролика; 8 - дві дуги; 9 - гнізда; 10 - кутовий датчик; 11 - центральна опора; 12 - кінцеві датчики; Ін - інвертор; БУ - блок управління; Кз - контролер заряду-розряду АКБ; АКБ - акумуляторна батарея;

Автономна система сонячної установки постачає вироблену енергію до споживачів змінного і постійного струму за допомогою електронних і механічних пристроїв, які серійно випускаються, наприклад акумулятор, інвертор, контролер заряду-розряду акумулятора.

Для систем автономного та напівавтономного електропостачання застосовуються акумулятори. В даному випадку обраний акумулятор серії *6 GFM - Coslight*. Він виготовляється у вигляді окремих елементів номінальною напругою 12 В, номінальною ємністю при 10 годинному режимі розряду ($t = +20\text{ }^{\circ}\text{C}$) від 38 до 200 А·год. Акумулятори серії *6 GFM Coslight* - стаціонарні герметизовані необслуговувані акумулятори.

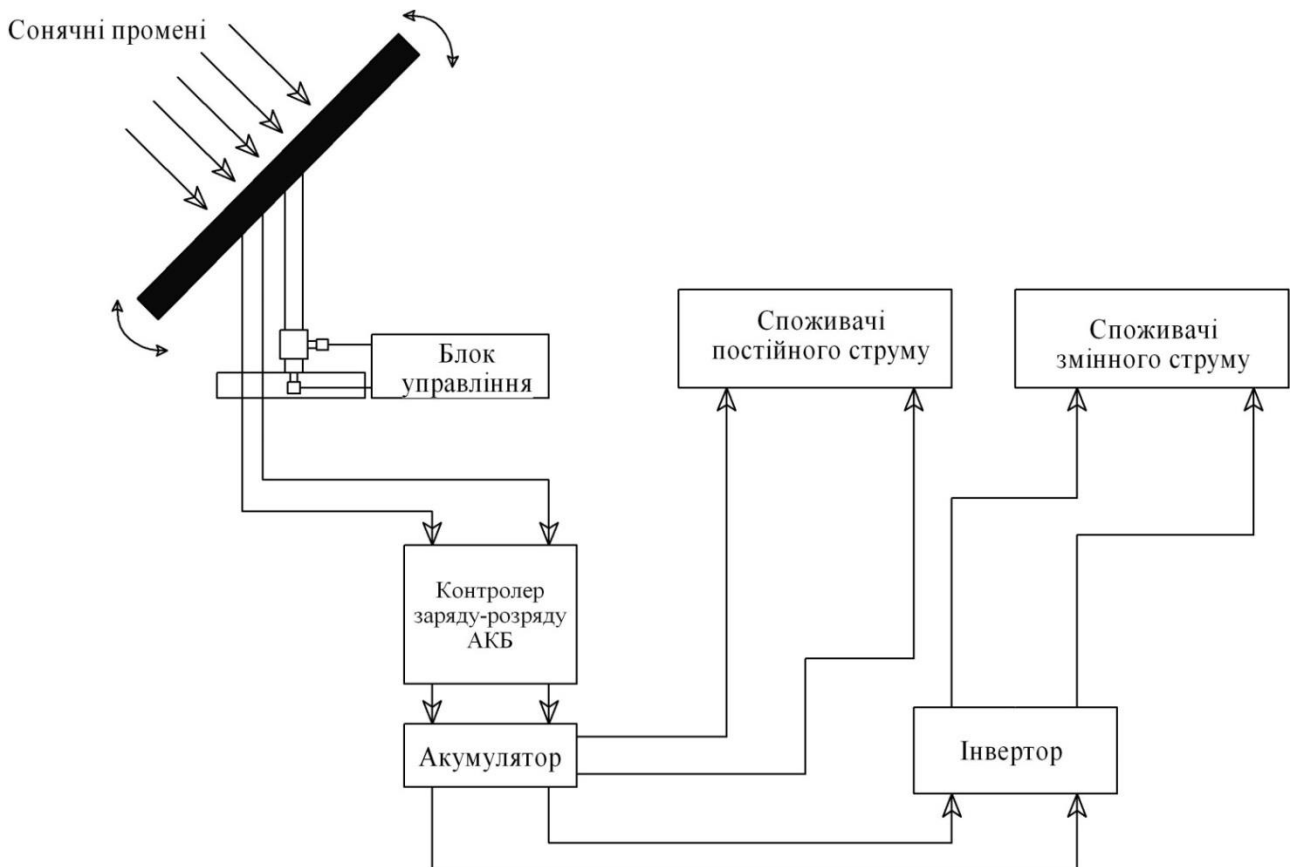


Рисунок 2.4 - Автономна система сонячної установки

Контролер призначений для управління режимами заряду і розряду акумуляторних батарей у складі як переносної, так і стаціонарної фотоелектричної системи, а також для безпосереднього заряду акумуляторів від джерел постійної напруги. Вибраний тип контролера заряду: *Steca Solarix*.

Інвертор перетворює постійну напругу і струм в змінний з напругою 220 В. Обраний інвертор типу Штиль *Штиль PS 12/300*.

2.1.5 Сонячна батарея як об'єкт управління

Для збільшення коефіцієнта корисної дії сонячних панелей необхідно, щоб сонячні промені падали вертикально.

Для забезпечення цієї умови необхідна система стеження за Сонцем і електропривід обертання по кутах сонячних батарей модулів.

В якості об'єкта управління використовується батарея фоточутливих пластин на кремнієвій основі розташованих на установці Буркова, розглянутої в

першому розділі. Недоліком установки Буркова є так само погана мобільність жорсткої конструкції батарей при транспортуванні. Тому замість цієї конструкції розглядаються пакети пластин аналогічні як і в розкладній батареї Кірсанова. Це принципово не впливає на систему управління і переміщення батареї при стеженні за Сонцем, зате зручно при транспортуванні на місцевості.

Розкладна сонячна батарея автора Кірсанова може бути використана для живлення радіоелектронної апаратури та підзарядки різних акумуляторних батарей. Сонячна розкладна батарея складається з однакових за розміром фотоелектричних панелей, закріплених в поздовжньому напрямку з проміжком на основі з гнучкого матеріалу в обрамленні з можливістю неодноразового складання.

Кожна фотоелектрична панель з'єднана з основою роз'ємними засобами фіксації. Обрамлення виконане з поздовжньо і поперечно розташованих накладних елементів, з'єднаних з основою уздовж сторін фотоелектричних панелей з можливістю відвороту при зміні фотоелектричної панелі.

У сонячній розкладній батареї, містяться електрично взаємозалежні між собою фотоелектричні панелі з безліччю фотоелектричних перетворювачів, закріплені між собою гнучким матеріалом з можливістю неодноразового складання.

Елементи кріплення, фотоелектричних панелей мають рамки з поздовжніх і поперечних накладних елементів, закріплених на основі та уздовж сторін фотоелектричних панелей з можливістю їх знімання при заміні фотоелектричних панелей, причому кожна з них з'єднана з основою і рамкою відповідними роз'ємними засобами фіксації і елементами кріплення.

Фотоелектричні панелі електрично з'єднуються за допомогою гнучких провідників, вбудованих у відвороти на довгих сторонах основи. Число фотоелектричних панелей від двох до десяти, при цьому сонячна батарея являє собою в складеному вигляді конструкцію типу "гармошки".

Сонячні панелі (фотоелектричні або сонячні модулі) виробляються багатьох типів і розмірів. Найбільш типові - це кремнієві фотоелектричні

модулі потужністю 40-60 Вт (піковий ват, тобто потужністю максимум в 40-60 Вт при яскравому Сонці). Такий сонячний модуль має розмір від 0,4 до 0,6 м². Сонячні панелі можуть з'єднуватися між собою для того, щоб отримати велику потужність (наприклад, 2 модуля по 50 Вт з'єднаних разом еквівалентні модулю потужністю 100 Вт).

ККД доступних в продажу модулів варіюється в межах 5-15 %. Це означає, що 5-15 % від кількості енергії, яка падає на сонячний елемент, буде трансформовано в електроенергію. Дослідні лабораторії у всьому світі розробляють нові матеріали для СЕ з більш високим ККД (до 60 %). Вартість виробництва також дуже важлива. Деякі нові технології (такі як, наприклад, тонкоплівкові), дозволяють виробляти СЕ в більших масштабах, що значно знижує вартість елементів і модулів.

Електричні характеристики сонячної батареї: вольтамперна характеристика

Сонячний модуль може працювати при будь-якій комбінації напруги і струму, розташованих на його вольтамперній характеристиці (ВАХ). Проте в реальності модуль працює в одній точці. Ця точка вибирається не модулем, а електричними характеристиками кола, до якої даний модуль (або сонячна батарея) підключений.

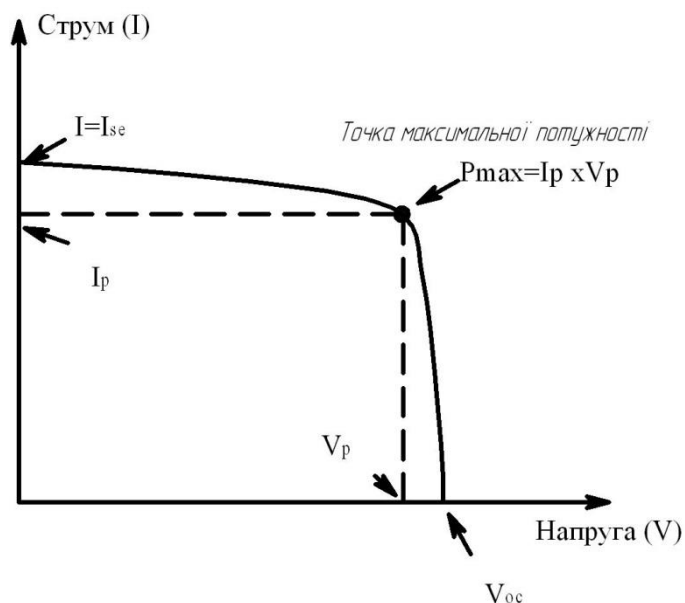


Рисунок 2.5 - Важливі точки на ВАХ, які характеризують сонячний модуль

Напруга, при якій струм дорівнює 0, називається напругою холостого ходу (V_{oc}). З іншого боку, струм, при якому напруга дорівнює 0, називається струмом короткого замикання (I_{sc}). У цих крайніх точках ВАХ потужність модуля дорівнює 0. На практиці, система працює при комбінації струму і напруги, коли виробляється максимальна потужність. Краще поєднання називається точкою максимальної потужності (ТМП, або МРР). Відповідні напруги і струм позначаються як V_p (робоча напруга) і I_p (робочий струм). Саме для цієї точки визначаються номінальна потужність і ККД сонячного модуля.

Можна знайти всі ці параметри - (V_{oc} , I_{sc} , МРР, V_p , I_p) - на щитку або доданих до модуля характеристиках. Однак не можна очікувати отримати номінальну потужність від сонячної батареї - майже неможливо, щоб зібрана система працювала весь час в точці максимальної потужності. Крім змін освітленості, на вироблювану потужність впливає температура сонячної батареї - чим вище температура сонячної батареї, тим нижче її потужність.

Сонячний модуль MSW -100

Каркасний сонячний модуль виконаний у вигляді панелі, закріпленої в каркас з алюмінієвого профілю (рис. 2.6).

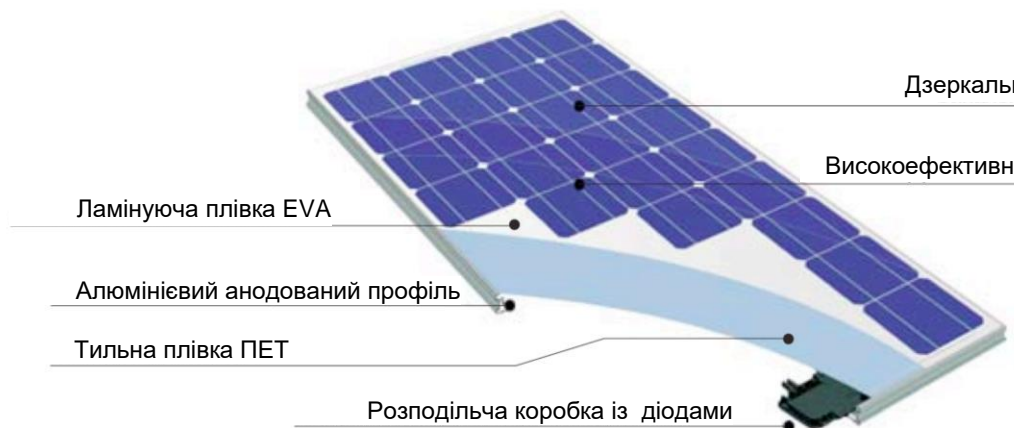


Рисунок 2.6 - Зразок сонячного модуля MSW -100

Модуль зберігає працездатність:

- при впливі вібраційних навантажень в діапазоні частот від 1 до 35 Гц при прискоренні до 0,5 g;
- сонячного випромінювання з інтегральної густиною світлового потоку не більше 1500 Вт/м^2 , в тому числі густиною потоку ультрафіолетової частини спектру 68 Вт / м^2 ;
- дощу інтенсивністю 5 мм / хв;
- туману;
- снігового або ожеледно-вітрового навантаження до 2000 Па.
- термін служби модуля - не менше 20 років.
- гарантійний термін - 10 років.

2.1.6 Повернення сонячних батарей у вихідне положення

Після завершення роботи стеження установки на протязі світлового дня, сонячні батареї повертаються у вихідне положення. Для цього застосовуються кінцеві датчики, змонтовані на обох кінцях панелі батареї. При певному положенні, датчики повідомляють мікропроцесор, про необхідність повернення кутового положення батареї пластин в початковий стан. Мікропроцесор обробляє дані, і за допомогою електродвигуна панелі повертаються в початкове положення.

2.2 Пелюстковий датчик кутових координат сонячної енергетичної установки

Датчик сигналів помилки є одним з основних елементів системи автоматичного орієнтування фотоелектричних панелей енергетичної установки по відношенню до Сонця. В цілому задача визначення кутів є просторовою. Ми обмежимося двома координатами - по куту місця і по азимуту. Розглянемо один з них - канал стеження за Сонцем по куту місця.

Можливі різні методи визначення кутів. Найбільш очевидний метод вимірювання швидкості відхилення по інтенсивності перетворення енергії. У нашому випадку цей метод неприйнятний через слабку завадостійкості в умовах затінення і малу точність. Метод сканування в просторі занадто складний і вимагає значних матеріальних і енергетичних витрат. Тому вибираємо пелюстковий метод параболічних поверхонь локації Сонця з рівносигнального зоною.

За своїм призначенням сонячна установка повинна бути автономною і ефективною. Для цього необхідно автоматично стежити за положенням Сонця і орієнтувати фотоелементи щодо Сонця таким чином, щоб генерований струм був максимальним. Для цього, вертикаль площини панелей завжди повинна бути спрямована на Сонце.

Найважливішим елементом автоматичної системи стеження за положенням Сонця повинна бути «антена» - датчик кутових координат по азимуту і куту місця.

Однак у випадку рухомих енергетичних носіїв і в умовах тимчасового, випадкового, затінення з'являються проблеми. Це пов'язано в першу чергу з погодними умовами, які призводять до тимчасових затіненнях Сонця, із зміною умов розгортання установки на місцевості або при швидкому переміщенні.

2.3 Кутомірний датчик в системі стеження і принципи його роботи

Відхилення положення Сонця від вертикалі (оптичної осі) фотоприймача визначається за допомогою двох пелюсткових датчиків по кожному каналу по куту місця ϵ (рис. 2.7) і по азимуту відповідно.

У системах, зазвичай використовується рівносигнальний метод пеленгування, при якому за допомогою двох фотометричних датчиків формується рівносигнальна зона (рис. 2.7). Система стеження за Сонцем, складається з фотоелектричних антен, формувача, електроприводу, екстраполятора, пристрою переривання контуру стеження. Антени фіксують

неузгодженість ϕ між оптичною віссю і напрямком на ціль (Сонце), по куту місця і азимуту відповідно. Слідкуючий електропривід зі зворотним зв'язком, налаштовує систему на точне стеження. Екстраполяція сигналу дає можливість більш точного слідкування і особливо необхідна на випадок тимчасового затінення Сонця, коли система переходить в режим розімкнутого керування. Застосування екстраполяції в разі тривалого затінення висуває особливі вимоги до лінійності пеленгаційної характеристики, нелінійність сприймається екстраполяційною системою як джерело спотворення.

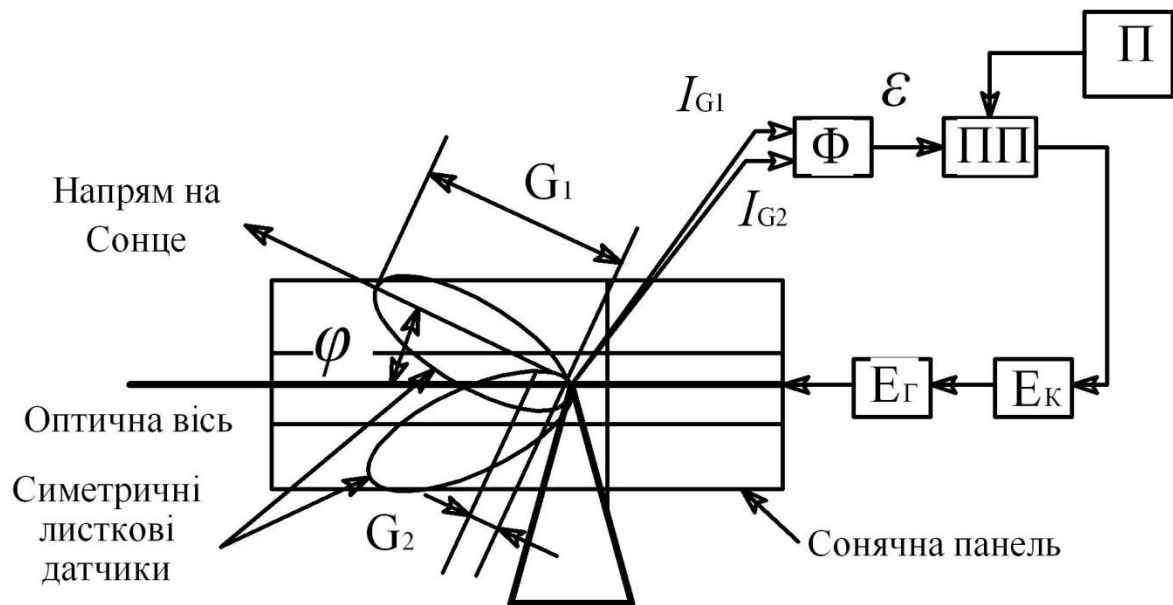


Рисунок 2.7 - Структурно-функціональна схема кутомірного датчика і системи управління установкою з електроприводом

Розглянемо схему сумарно-різницевого формувача помилки в площині (рис. 2.7). У результаті підсумовування і віднімання парціальних сигналів антени $I_{G_1}(t)$ та $I_{G_2}(t)$ у пристрої формувача утворюються сумарний і різницевий сигнали. Залежність сумарного струму від кутового відхилення джерела сигналу визначається сумарною діаграмою спрямованості, яка виражається через парціальні діаграми спрямованості співвідношенням $I_{G_1}(\phi) = I_{G_1}(\phi) + I_{G_2}(\phi)$, де ϕ - відхилення парціальної діаграми від рівносигнального зони. Аналогічно визначається різницевий сигнал за співвідношенням $I_{G_1}(\phi) = I_{G_1}(\phi) - I_{G_2}(\phi)$.

Пеленгаційна характеристика формується як функція відношення різниці сигналів від кожної пелюстки антени до їх суми по вертикальному і курсовому каналах відповідно. В системі стеження (рис. 2.7) сигнал помилки неузгодженості (помилки наведення) надходить до блоку Ек - екстраполятор.

У разі затінення Сонця, представленому на рис. 2.7 блоком П - перешкода, імітується затінення Сонця при моделюванні системи. При відсутності сигналу від Сонця або по команді імітатора затінення спрацьовує пристрій перемикачання (ПП) з замкнутого режиму стеження контуру стеження і управління відбувається по розімкненому режиму за запам'ятованими сигналами екстраполятора Ек. З виходу екстраполятора керуючий сигнал подається на електропривід Еп, який повертає антену.

Параболічна антена складається з чотирьох однакових пелюсток - фотоелементів.

На рис. 2.8 показано профіль однієї пелюстки параболічної антени.

Парабола має параметр p і радіус розкриття R . Залежно від кута падіння променя α на поверхню фотоелемента даної гіпотетичної антени змінюються струми фотоелементів, розташованих на внутрішній частині параболічної поверхні.

Ефективна площа фотоелемента визначається як добуток площі S поверхні фотоелементів антени на синус відповідного даному елементу поверхні кута падіння сонячного проміння α , тобто

$$S_{ef} = S \cdot \sin \alpha \quad (2.2)$$

якщо антена направлена на Сонце. У іншому випадку кут буде змінюватися на величину відхилення оптичної осі від напрямку на Сонці.

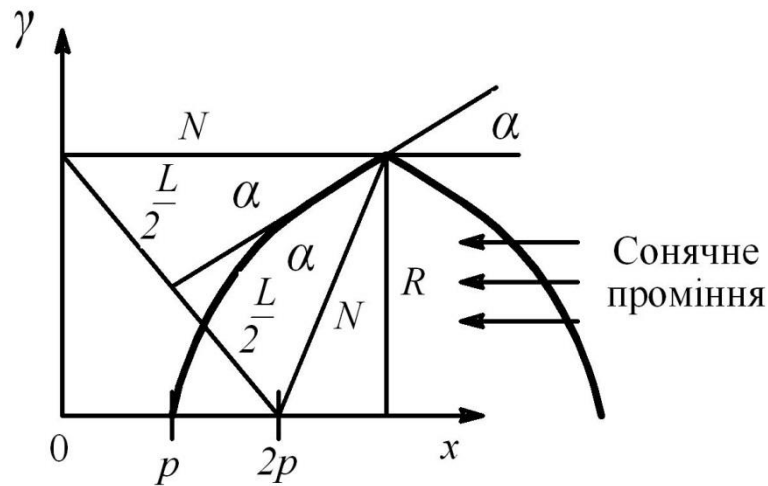


Рисунок 2.8 - Профіль пелюстки параболічної антени

2.4 Розрахунок пеленгаційної характеристики параболічного фотоприймача

Основним завданням даних розрахунків є одержання задовільної діаграми спрямованості. Основні вимоги - ширина діаграми спрямованості порядку ± 30 градусів і лінійність в цих межах $\pm 15^\circ$, які визначені кутами траєкторії опівденного Сонця при безперервному затіненні до двох-трьох годин.

Вимога лінійності обумовлено точністю екстраполяції, коли система працює в розімкнутому режимі. Будь-яка нелінійність вносить помилки.

Ширина і область лінійності пеленгаційної характеристики залежить від співвідношення параметра параболи p і радіусу розкриття R .

Для визначеності, в якості вихідного, вибираємо це співвідношення рівним: $R = 2p$.

У загальному випадку, коли антена не спрямована на Сонце, а має кут відхилення ϕ від осі параболи (від оптичної осі антени), струм, що наводяться у сонячному фотоеlementі світлом, буде рівний:

$$I = K \cdot S \cdot \sin \alpha + \phi, \quad (2.3)$$

де S - площа фоточутливого елемента,
 K - чутливість елемента.

Для розрахунків ефективної площі необхідно знати кути падіння променів α на параболічну поверхню в залежності від відстані елемента від центральної точки параболі.

Кути падіння променів α на поверхню параболі (рис. 2.8) дорівнюють:

$$N = \frac{R}{\cos(90^\circ - 2\alpha)} \quad \text{і} \quad N = \frac{L}{2\sin\alpha}.$$

Враховуючи, що $\cos(90^\circ - 2\alpha) = \sin 2\alpha = 2\sin\alpha \cdot \cos\alpha$, маємо:

$$\frac{R}{2\sin\alpha \cdot \cos\alpha} = \frac{L}{2\sin\alpha}, \quad \text{де} \quad L = \sqrt{R^2 + (2p)^2}.$$

Звідси випливає: $\cos\alpha = \frac{R}{\sqrt{R^2 + (2p)^2}}$ і кут падіння α дорівнює:

$$\alpha = \arccos \frac{R}{\sqrt{R^2 + (2p)^2}} \quad (2.4)$$

Для подальших розрахунків ефективних площ з урахуванням кутів падіння сонячних променів необхідно розглянути конструкцію антени більш докладно.

Параболічна антена складається з чотирьох попарно симетричних пелюсток. Тому можна уявити тільки один з них в проекції площини розкриття параболічної антени см. (рис. 2.9).

Поверхня антени розбита на п'ять смуг, розрізаних на сектори, кожна з яких має свій середній радіус R_n . Максимальне значення радіусу умовно прийнято рівним 10. Розрахункові значення середніх радіусів для секторів $n = 1, 2, \dots, 5$ дорівнюють 1, 3, 5, 7, 9 відповідно. При освітленні антени з напрямку оптичної осі, кожен сектор знаходиться під кутом падіння променів α_n .

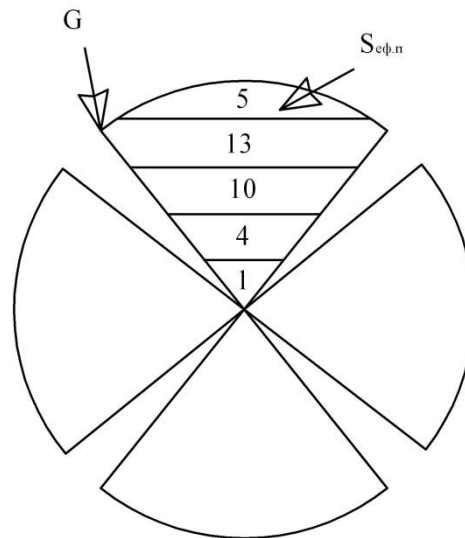


Рисунок 2.9 - Проекція пелюстки антени на поверхню розкривання

Розрахунки кутів падіння променів на поверхню кожного сектора наведені в табл.2.1.

Таблиця 2.1 - Розрахунки кутів падіння променів на поверхню кожного сектора

№ сектора n	Площа сектора, в.о.	$R_n^2 + 2p^2$	$\cos \alpha_n$	Кут падіння α_n (град.)
1	1	101	0,0996	84,5
2	4	109	0,28735	73,5
3	10	125	0,4772	61,5
4	13	149	0,5737	55
5	5	181	0,669	48

Сумуючи добутки площі смуги сектора n антени на відповідні значення функцій $f_n = \sin \alpha_n + \phi$ - залежно від кутів падіння променів і відхилення променів від оптичної осі на кут ϕ , в результаті отримаємо ефективну площу

цього сектора $S_{ef.n}$ і, потім сумарну ефективну площу пелюстки антени $S_{ef.}$.

Результати розрахунків зведені в таблицю 2.2.

Таблиця 2.2 - Результати розрахунків

№ сектора	Площа сектора	Кут α_n (град.)	Відхиленн. ϕ (град.)	Функція $\sin(\alpha_n + \phi)$	Площа $S_{ef.n}$	$G = \sum_{n=1}^5 S_{ef.n}$
1	2	3	4	5	6	7
$\phi = 0^\circ$						
1	1	84,5	0	0,9954	0,9954	28
2	4	73,5	0	0,9588	3,895	
3	10	61,5	0	0,8788,,	8,788	
4	13	55	0	0,8192	10,65	
5	5	48	0	0,7431	3,715	
$\phi = +10^\circ$						
1	1	94,5	+10	0,9971	0,96	39,43
2	4	83,5	+10	0,9936	3,97	
3	10	71,5	+10	0,9483	9,48	
4	13	65	+10	0,906	11,78	
5	5	58	+10	0,848	4,24	
$\phi = -10^\circ$						
1	1	74,5	-10	0,9639	0,9636	24,66
2	4	63,5	-10	0,895	3,6	
3	10	51,5	-10	0,7826,,	7,826	
4	13	45	-10	0,707	9,19	
5	5	38	-10	0,6157	3,078	

Продовження таблиці 2.2

$$\phi = 20^\circ$$

1	2	3	4	5	6	7
1	1	104,5	+20	-	-	31,07
2	4	93,5	+20	0,998	3,99	
3	10	81,5	+20	0,989	9,89	
4	13	75	+20	0,966	12,56	
5	5	68	+20	0,9272	4,636	

$$\phi = -20^\circ$$

1	2	3	4	5	6	7
1	1	64,5	-20	0,9026	0,9026	20,55
2	4	53,5	-20	0,804	3,216	
3	10	41,5	-20	0,6626	6,626	
4	13	35	-20	0,5736	7,457	
5	5	28	-20	0,47	2,35	

$$\phi = 30^\circ$$

1	2	3	4	5	6	7
1	1	-	+30	-	-	17,8
2	4	-	+30	-	-	
3	10	91,5	+30	1	10	
4	13	85	+30	0,996	12,95	
5	5	78	+30	0,97819272	4,89	

Продовження таблиці 2.2

$$\phi = -30^\circ$$

1	2	3	4	5	6	7
1	1	54,5	-30	0,8141	0,8141	15,8
2	4	43,5	-30	0,6884	2,7536	
3	10	31,5	-30	0,5226	5,226	
4	13	25	-30	0,4226	5,5	
5	5	18	-30	0,309	1,545	

В таблиці 2.3 наведено залежність ефективних площ G симетричних петлюнок антени від кутів неузгодженості променів Сонця і оптичної осі. У результаті отримана функція діаграми спрямованості згідно з формулою:

$$I(\phi) = \frac{I_{G_1} - I_{G_2}}{I_{G_1} + I_{G_2}} \quad (2.5)$$

Різницю сигналів фотоелементів секторів антени перетворюються в цифрову форму за допомогою АЦП.

На основі різниці величин сигналів фотоелементів протилежних секторів антени нормовані сумою цих сигналів будують пеленгаційну характеристику.

Отримані результати розрахунків, поміщені в таблицю 2.3. На її основі побудована діаграма спрямованості (рис. 2.10).

Проведені розрахунки показали можливість отримати симетричну відносно початку координат пеленгаційної характеристику у вигляді непарної лінійної функції в межах $\pm 25^\circ$. У межах ± 25 з похибкою 24 % і в межах ± 20 з похибкою 6 %.

Кутовий датчик можна виготовити шляхом напилення аморфного світлочутливого матеріалу на основу, що повторює профіль параболи. Конструктивно кріпиться на рамі панелей фотоелементів. Розміри його вибираються так, щоб забезпечити достатню величину фотоструму для

задовільної роботи вхідного електронного підсилювача аналого-цифрового перетворювача.

Таблиця 2.3 -Розрахункові дані для побудови діаграми спрямованості

ϕ (град)	-30	-20	-10	0	10	20	30
I_{G_1}	15,8	20,55	24,66	28	30,43	31,07	17,8
I_{G_2}	17,8	31,07	30,43	28	24,66	20,55	15,8
$I(\phi)$	-0,06	-0,211	-0,111	0	0,111	0,211	0,06

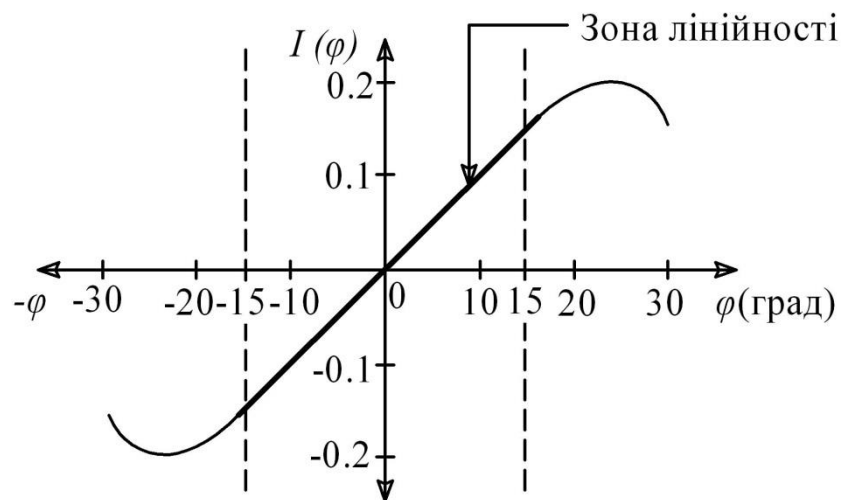


Рисунок 2.10 - Діаграма спрямованості

2.5 Алгоритми і цифрові пристрої формування сигналу помилки

Формування пеленгаційної функції відбувається згідно з формулою різниці сигналів пелюсток з нормування по сумі цих сигналів за формулою (2.5).

Операція поділу досить складна арифметична операція, особливо в області малих сигналів.

Реалізація обчислювальних процедур і передачі даних на відстань доцільно виробляти в цифровій формі за допомогою мікропроцесора.

Попередньо сигнали з пелюсткових датчиків перетворюються за допомогою аналого-цифрових перетворювачів. Далі цифрові дані надходять на мікропроцесор - обчислювальний пристрій, за допомогою якого можна отримати сигнали після обробки, відповідно до формул екстраполяції, і далі послати їх на пристрій керування кроковим електроприводом.

Алгоритм обчислення нормованої величини сигналу помилки по сигналах пелюсткової антени в цифровій формі представлений на рис. 2.11.

Даний алгоритм реалізується мікропроцесором.

2.6 Вибір та обґрунтування електричного приводу сонячних батарей

Як вже було зазначено, проблема освоєння сонячної енергії пов'язана з орієнтуванням фотоелементів відносно Сонця. Особливо це актуально і важливо у випадку рухомих платформ і в умовах тимчасового, випадкового затінення.

Максимальна потужність проектованої енергетичної установки порядку 0,9 кВт і призначена установка для побутових цілей.

Направлення на Сонце постійно змінюється, тому необхідно коректувати положення фотоприймача. Цим цілям служить система стеження з силовим електроприводом, що змінює кутове положення сонячних батарей. Система стеження приведена на рис. 2.7. Нагадаємо, вона складається з фотоелектричних антен, формувача, електроприводу, екстраполятора, і пристрою, що імітує переривання контуру стеження для моделювання випадку затінення.

Установка працює в такий спосіб.

Антени фіксують неузгодженість φ між оптичною віссю і напрямком на ціль (Сонце), по куту місця і азимуту відповідно.

Слідкуючий електропривід зі зворотним зв'язком, забезпечує точне стеження. Пристрій екстраполяції і коригувальний фільтр забезпечують стійкість системи, дає можливість точного слідкування.

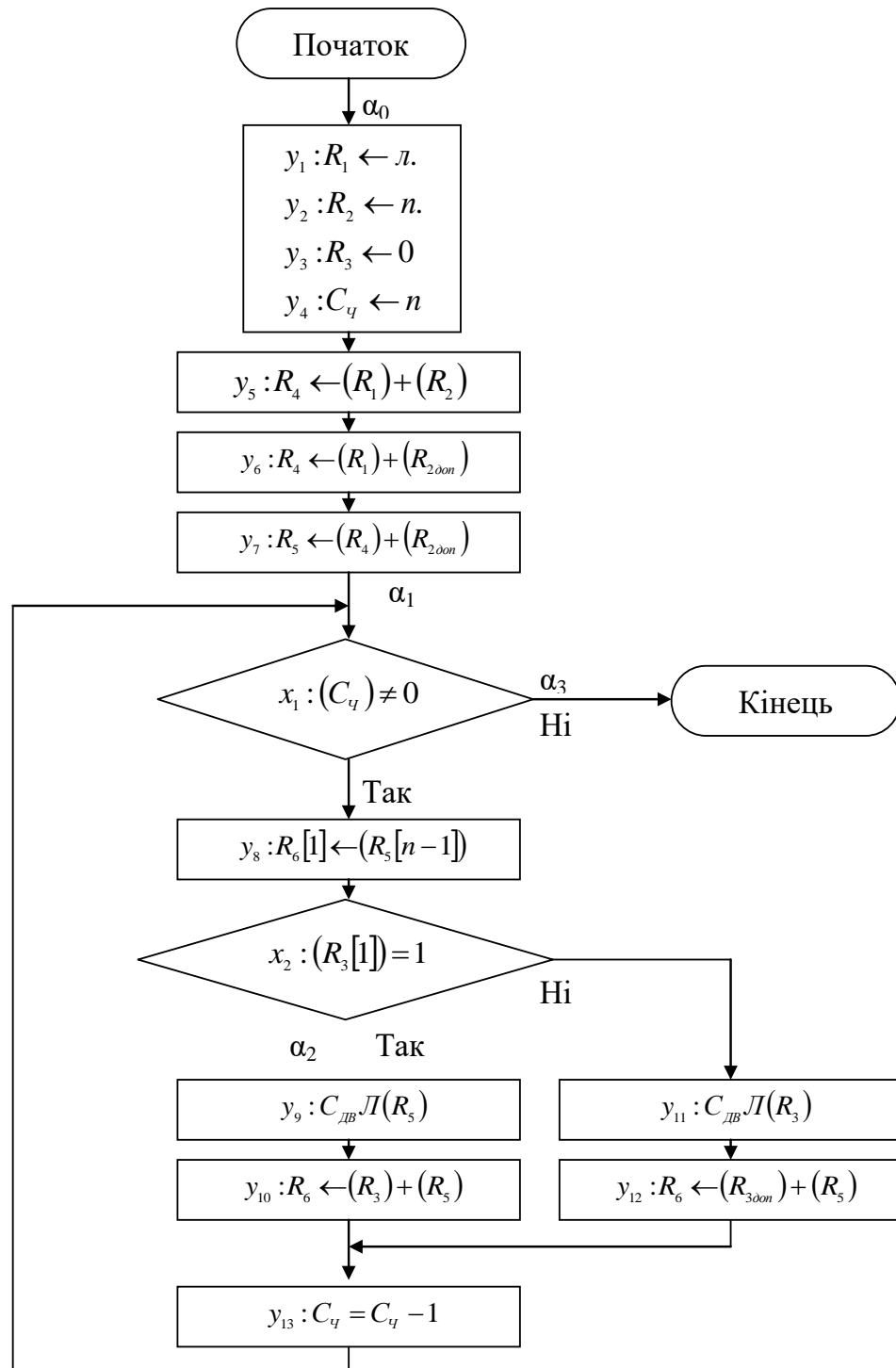


Рисунок 2.11 - Алгоритм обчислення нормованої помилки кута місця

Екстраполяція кутового положення Сонця на випадок тимчасового затінення запобігає порушенню режиму стеження, коли система переходить в режим розімкнутого керування, відбувається відключення стеження і вмикання режиму автономної роботи установки.

За допомогою екстраполяції в період затінення система працює в розімкнутому режимі за накопиченими в екстраполяторі попередніми сигналами. При цьому видається сигнал помилки під час затінення і при виході з зони затінення система практично не втрачає режим стеження, плавно переходить в замкнутий цикл управління.

Зауважу, що вимоги до динаміки електроприводу на кожному кроці не грають великої ролі, так як вони малі і згладжуються за рахунок великої інерції навантаження, тому робота з вибору електроприводу носить дещо конспективний характер.

Розглянемо електромеханічну частину системи електроприводу кутового переміщення об'єкта управління батареї фотоприймача.

2.6.1 Електричні параметри і механічні характеристики системи

Кінематичні характеристики:

Час роботи в повному циклі 12 годин (720 хв.).

Кут повороту сонячної батареї 180°

Максимальна швидкість обертання батареї: $V=30$ град./хв.

Передавальне число редуктора: $n = 1,8 \cdot 10^4$

Сонячна батарея складається з дев'яти модулів типу MSW-100, які конструктивно укладені в розкладний рамі типу конструкції Кірсанова. Всі панелі електрично зв'язані.

Номінальна напруга батареї 12 В.

Струм максимальної потужності 54 А.

Потужність 900 Вт.

Електричні параметри модуля:

Потужність (Вт) 100

Струм максимальної потужності (А) 5.88

Номінальна напруга (В) 12

Розміри

Довжина (мм) 1,416

Ширина (мм) 751

Вага (кг) 10,6

Розташування панелей в батареї показано на рис 2.12.

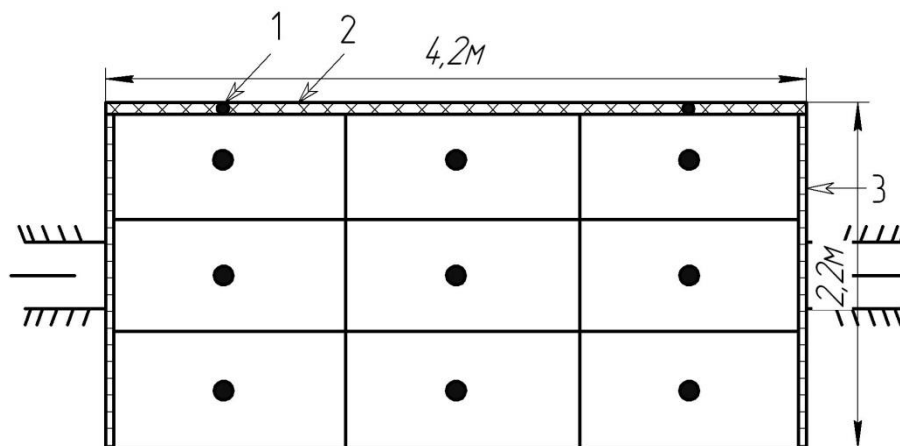


Рисунок 2.12 - Розташування модулів на панелі

1 - кільце; 2 - циліндрична щітка; 3 - шестерно-рейкова передача

Момент інерції навантаження - конструкції фотоприймача, відповідно до загальної формули $J = \sum_{n \in N} \frac{mr_n^2}{2}$, де N - число елементів (в даному випадку модулів), m - маса елемента, n - номер елемента.

В результаті розрахунків для даної конструкції отримано $J = 3,7 \times 10^5$ кг см².

Момент інерції, приведений до валу електродвигуна:

$$J = 0,7 \text{ Гс см}^2.$$

Момент конструкції: $M = 5724$ кгсм.

Момент навантаження, приведений до валу електродвигуна: $M = 4,23$

кгсм

2.6.2 Електродвигун

Електродвигун повинен забезпечувати обертання сонячних батарей з точністю порядку $\pm 5\%$ так, щоб не знижувалася електрична потужність фотоприймача.

Електродвигун не повинен споживати багато енергії. Система управління може бути функціонально складною, але по енергоспоживанню повинна бути також економною. Ці суперечливі вимоги накладають певні обмеження на вибір електроприводу. В результаті обраний цифровий кроковий електропривід з реалізацією складних функцій управління на мікропроцесорі.

Крок електродвигуна - 3,6 град,

Частота крокового приводу $300 \frac{\text{крок}}{\text{хв}}$.

На основі приведених даних і аналізу сучасних моделей, обраний трифазний кроковий електродвигун типу FL42STH47.

Його дані:

Електричні параметри

Напруга живлення (В)	12
Струм (А)	1,2
Опір фази (Ом)	3,2
Індуктивність фази (мГн)	6,0

Механічні характеристики

Момент інерції ротора електродвигуна ($\text{г} \cdot \text{см}^2$)	82
Момент рушання ($\text{кг} \cdot \text{см}$)	4,5

Постійна часу електропривода в режимі переходу батареї панелей в початковий стан при заданому навантаженні складає $T = 0,3$ сек.

Трифазний кроковий електродвигун (КЕ) з електронним комутатором здійснює перетворення унітарного коду в кут повороту або кутову швидкість обертання вала. Кожному імпульсу управління відповідає поворот валу на

деякий фіксований кут - крок електродвигуна, величина якого залежить від конструкції КЕ і способу комутації його обмоток. Кутова швидкість обертання і кут повороту вала КЕ пропорційні відповідно частоті і числу імпульсів управління.

Функціональна схема дискретного електроприводу наведена на рис. 2.13.

Електронний комутатор (ЕК) має два входи (Вх.1 і Вх.2) для забезпечення реверсу КЕ. Схема електронного комутатора визначається числом керуючих обмоток КЕ і включає кільцевий реверсивний лічильник у формі кінцевого автомата, що подає сигнали на підсилювачі потужності і в фазні обмотки крокового електродвигуна. Сигнали управління на входи комутатора надходять з пристрою перетворення цифра - частота або аналог-частота.

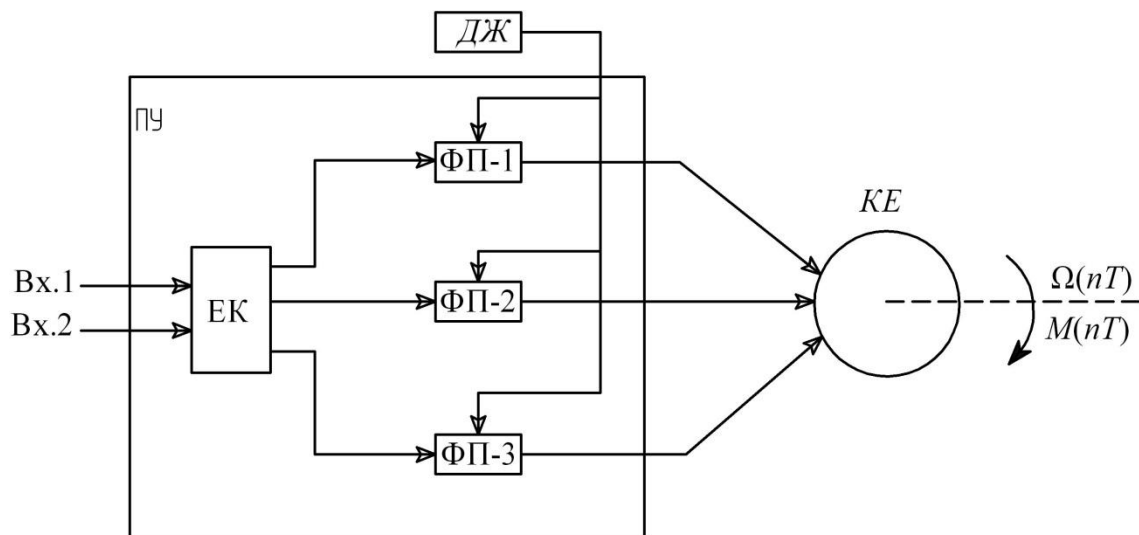


Рисунок 2.13 - Функціональна схема дискретного електроприводу
ФП - фазові підсилювачі, КЕ - кроковий електродвигун, ЕК - електронний комутатор, ПУ - пристрій управління, ДЖ - джерело живлення

Відмінна риса КЕ від звичайних синхронних електродвигунів - можливість входження в синхронізм із стану спокою без ковзання, а гальмування - без ходу ротора. Тому КЕ забезпечує в робочому діапазоні частот пуск, зупинку і реверс без втрати інформації, тобто без пропуску кроків.

При зміні керуючих імпульсів по необхідному закону КЕ працює в режимі стеження, відтворюючи з точністю до одного кроку складний рух, заданий послідовністю імпульсів.

При відсутності керуючого сигналу на вході комутатора частота командних імпульсів дорівнює нулю. У цьому режимі у КЕ формується обертовий момент, «запам'ятовуючи» кінцеві координати кутового переміщення з точністю до часток кроку.

Величину кроку визначають за формулою;

$$\alpha_k = 360^\circ / (nm_y z_p) \quad (2.6)$$

де n - коефіцієнт ($n = 1$ при роздільному включенні обмоток, $n = 2$ при роздільно-спільному включенні);

m_y - число обмоток управління КЕ;

z_p - число зубців ротора.

2.7 Система управління кроковим електродвигуном

Загальна схема керування кроковим електродвигуном показана на блок-схемі рис. 2.14.



Рисунок 2.14 - Схема керування кроковим електродвигуном

Вхідний контролер виконує функції перетворення амплітудно-модульованого сигналу в цифрову форму в сигнал зі змінною частотою.

Логічний блок формує сигнали керування кроковим електродвигуном за фазами.

Кроковий електродвигун здійснює обертальний рух у формі однокрокового відклику на комбінацію імпульсів по фазах електродвигуна, поданих

у певній послідовності. Частота послідовностей та комбінацій по фазах визначає швидкість покрокового обертання осі електродвигуна. На рис. 2.15, показано покроковий відклик обертання осі електродвигуна.

Найбільш практичною та надійною схемою для трифазних електродвигунів запропонована в [10] схема з перемиканням двох односпрямованих обертів у протилежні сторони. На рис. 2.16. представлені ці схеми.

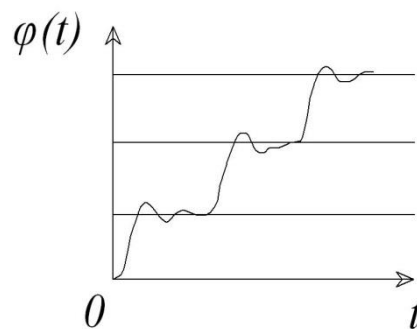


Рисунок 2.15 - Кроковий відклик

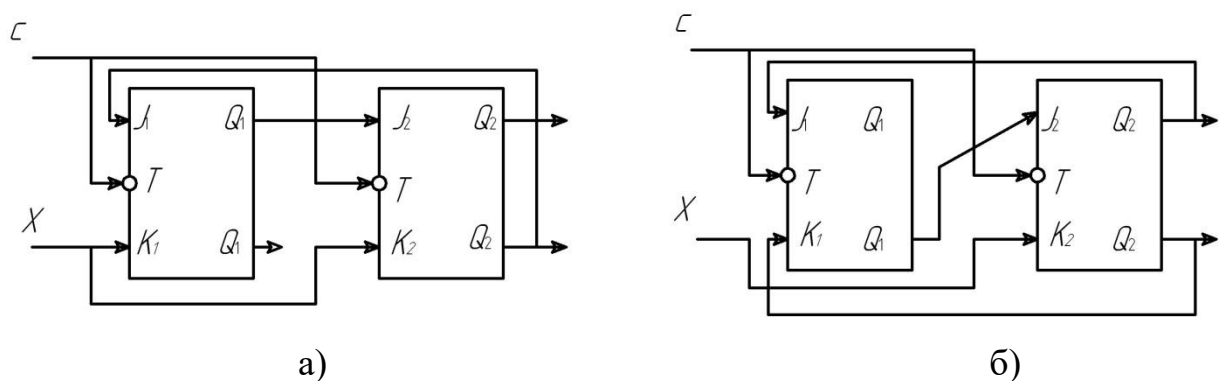


Рисунок 2.16 - Логічний блок для трифазних електродвигунів з односпрямованим обертанням: (а) за годинниковою стрілкою, б) проти годинникової стрілки, х - вхідний керуючий сигнал, с - імпульси синхронізації

Більш коректна схема двонаправленого руху представлена на рис. 2.17.

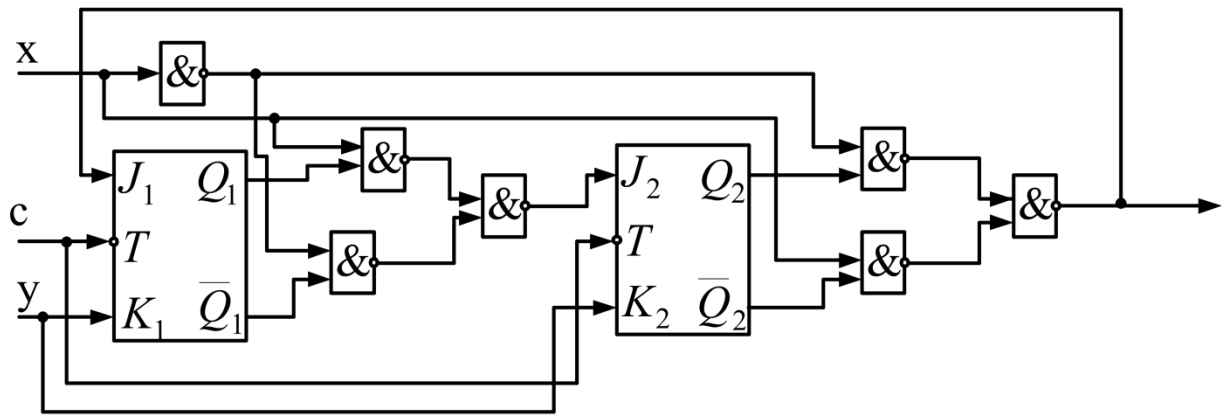


Рисунок 2.17 - Логічна схема управління для трифазного крокового електродвигуна

На цьому рисунку позначено: сигнал $y = 1$ - обертання за годинниковою стрілкою, $y = 0$ - обертальний рух проти годинникової стрілки.

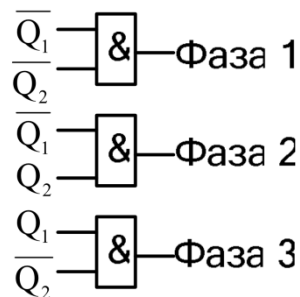


Рисунок 2.18 - Вмикання фаз крокового приводу

Дана схема (рис. 2.17) реверсивного автомата задовольняє вимогам перетворення послідовності імпульсів в кутову швидкість обертання КЕ за годинниковою стрілкою і в протилежну сторону без втрат кожного імпульсу, на відміну від первинної схеми рис. 2.16.

2.8 Висновки до розділу

1. Для вирішення конструктивних проблем досліджуваної установки обраний прототип - установка сонячної батареї конструкції Буркова Л.М., захищений патентом 2005 році.

2. Проведено дослідження залежності впливу кутів відхилення від вертикалі площини сонячної панелі на її енергоефективність (рис. 2.1).

3. На основі аналізу багатьох методів визначення положення Сонця запропоновано пелюстковий метод параболічних поверхонь локації Сонця з рівносигнальною зоною, який є найбільш прийнятним з точки зору реалізації по точності, чутливості і лінійності пеленгаційної характеристики в межах інтервалу часу затінення Сонця до двох-трьох годин.

4. Пеленгаційна характеристика датчика положення Сонця формується як функція відношення різниці сигналів від кожної пелюстки антени до їх суми по вертикальному і курсового каналах відповідно. Цим досягається стабільність рівня сигналу помилки по величині. Ширина і область лінійності пеленгаційної характеристики залежить від співвідношення параметра параболи p і радіусу розкриття R . У нашому випадку це співвідношення вибрано рівним двом.

5. В результаті аналізу можливих типів електродвигунів, які можуть використовуватись в якості виконавчого елемента електроприводу, встановлено, що найбільш енергоефективні та точні щодо позиціонування є крокові електродвигуни. Вони також відрізняються тим, що мають можливість входження в синхронізм із стану спокою без ковзання, а гальмування - без вибігу ротора. Тому КЕ забезпечує в робочому діапазоні частот пуск, зупинку і реверс без втрати інформації, тобто без пропуску кроків.

3 РОЗРАХУНКОВО-ДОСЛІДНИЦЬКИЙ РОЗДІЛ

3.1 Розробка алгоритмів системи стеження за Сонцем в умовах тривалого затінення

3.1.1 Формування контуру автоматичного спостереження сонячної енергетичної установки

Робота сонячної енергетичної установки залежить від положення Сонця щодо поверхні панелей з фотоелектричними пластинами. Найбільша ефективність сонячних батарей досягається, коли сонячні промені падають на поверхню пластин вертикально, тому необхідна система автоматичного стеження і кутового переміщення панелей фотоелементів.

Принципова особливість системи стеження за Сонцем - можливість тривалого переривання стеження при затіненні Сонця хмарами. У цьому випадку необхідна екстраполяція положення Сонця. Принцип управління стає комбінованим, система повинна працювати в замкнутому і розімкнутому режимі. При цьому кут відхилення від справжнього стану Сонця не повинен виходити за межі діаграми спрямованості антени, більш того, в цілях економії електроенергії вигідно мати високу точність, щоб забезпечити плавність переміщення платформи фотоелементів, виключивши небажані перехідні процеси.

Система автоматичного керування містить антенну систему - датчик кутових розбіжностей та електропривід обертання рами з фотоелектричними панелями і закріпленою антеною. Вони стежать за кутовим положенням Сонця відносно поверхні фотоелектричних панелей і по сигналу помилки неузгодженості здійснюють обертання рами таким чином, щоб промені Сонця завжди падали вертикально на поверхню панелей впродовж світлового періоду доби.

В якості вхідного сигналу системи управління служить кутове положення Сонця. Система має два незалежні канали управління по азимуту і куту місця відповідно.

Плоска поверхня світлочувливих панелей з жорстко закріпленою на ній пелюстковою антеною здійснює обертальний рух на кут 180° протягом світлового дня за допомогою автоматичної системи стеження за положенням Сонця. Ця система є вузькосмуговою, у порівнянні з перешкодами типу качання всієї платформи установки під впливом хвиль або під впливом нерівностей дороги при переміщенні, тому може враховуватися за допомогою коефіцієнтів і величин середніх значень.

Однак є перешкоди у формі затінення Сонця на тривалий період часу, які мають істотний вплив на роботу системи аж до відключення автоматичного спостереження. У полуденний час за три години часу безперервного затінення хмарами Сонце змінює положення щодо землі і виходить за межі пеленгаційної характеристики антени стеження. В результаті стеження порушується.

Найбільш сприятливий режим роботи установки - безперервне стеження в замкнутому контурі.

У разі затінення Сонця управління стає комбінованим, стеження відбувається в розімкнутому режимі, а з появою Сонця знову включається замкнутий режим стеження. При затіненні Сонця режим стеження за запам'ятованими сигналами фільтра екстраполяції.

В якості вхідного сигналу керування в контурі управління виступає зміна кутового положення Сонця. Найбільша зміна кута місця Сонця на екваторі.

Структурна схема контуру управління по каналу кута місця наведена на рис. 3.1.

Цей режим роботи моделюється за допомогою блоку переривання.

По каналу азимута структурна схема аналогічна.

Екстраполятор служить для вироблення точного стеження в замкнутому режимі і для екстраполяції сигналу під час переривання.



Рисунок 3.1 - Структурна схема автоматичного спостереження сонячної енергетичної установки, де *вхідний сигнал* - положення Сонця по куту місця (по азимуту); *перешкода*-затінення Сонця хмарами чи горами або будовами, в результаті автоматичне стеження по замкнутому режиму переривається

Коригувальний фільтр разом з іншими елементами схеми забезпечує необхідні перехідні процеси і запаси стійкості контуру управління в цілому.

Електропривод виконує команди кутового переміщення об'єкта управління - батареї панелей з фотоелектричними приймачами.

Важливу роль у вирішенні проблеми автоматичного управління відіграє екстраполюючий пристрій. Він в значній мірі впливає не тільки на точність роботи в замкнутому і розімкнутому режимі в процесі стеження, але також і на перехідні процеси, тому система аналізується в цілому, з урахуванням впливу всіх елементів.

3.1.2 Дискретні екстраполюючі системи

Щоб зрозуміти принцип екстраполяції звернемося до дискретних систем з постійним інтервалом дискретності T .

Екстраполююча дискретна система стеження - особливий тип системи, на виході якої відтворюється безперервний сигнал, що співпадає в дискретні моменти часу з вхідним сигналом.

У процесі стеження система будує поліном, в даному випадку вибираємо ступеневий поліном Ньютона, за аналогією з інтерполяцією функції, що

проходить через попередні дискретні точки, тільки напрямок руху в протилежну сторону, тобто в сторону екстраполяції майбутніх значень.

За допомогою полінома проводиться екстраполявання, прогнозування майбутнього значення вхідного сигналу.

У разі неспівпадання екстраполюючого значення з дійсним дискретним значенням вхідного сигналу проводиться корекція екстраполюючого полінома по сигналу помилки.

Для пояснення принципу екстраполяції розглянемо окремий випадок.

3.1.3 Генерування поліномів у дискретних системах

Побудова екстраполюючої системи засновано на зміні ступеня полінома. Для генерації полінома зазвичай застосовуються інтегратори при їх послідовному з'єднанні. Послідовне інтегрування призводить до необхідності введення поправочних коефіцієнтів. Розглянемо це на прикладі полінома третього порядку.

Приклад. Генерування сигналу, заданого поліномом за допомогою інтеграторів.

Припустимо, на вихід третього інтегратора необхідно отримати напругу, що змінюється по наступному закону:

$$f(t) = a_0 t^3 + a_1 t^2 + a_2 t + a_3, \quad (3.1)$$

де коефіцієнти a_i , задані як деякі вихідні величини.

Для формування першого члена поліному потрібно три інтегратора, для другого члена два інтегратора і т.д. Усі гілки полінома з'єднуються паралельно (підсумовуються). В результаті, схема може спроститися до виду, показаного на рис. 3.2.

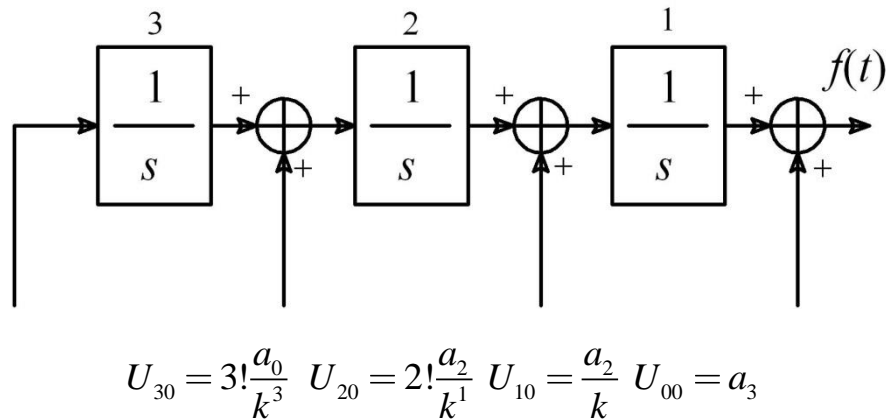


Рис. 3.2 - Структурна схема пристрою для генерування сигналу, що задається поліномом 3-го ступеня

Будемо вважати, що інтегратори ідеальні, з коефіцієнтом підсилення K . Вихідна напруга $U_{вих}$ пов'язана з вхідною $U_{вх}$ залежністю:

$$U_{вих} s = \frac{k}{s} U_{вх} s \quad (3.2)$$

З'єднуємо інтегратори послідовно, і визначаємо початкові зміщення на кожен інтегратор (рис. 3.3).

Для отримання вільного члена відповідного рівняння необхідно на вхід 1-го суматора подати додаткове зміщення (початкова умова) $U_{00} = a_3$.

На вхід 1-го інтегратора слід подавати $U_{10} = \frac{a_2}{k}$, на вхід 2-го інтегратора

$U_{20} = 2! \frac{a_2}{k^1}$ і на вхід третього $U_{30} = 3! \frac{a_0}{k^3}$.

В останньому суматорі додається вільний член, отримаємо на виході необхідну функцію $f(t)$, що задається формулою (3.3).

3.1.4 Принцип екстраполяції у дискретних системах

На відміну від інтерполяції, нас цікавить поведінка сигналу за межами інтервалу спостереження, тому постановка задачі дещо зміниться.

Будемо вимагати від системи, щоб вихідний сигнал проходив через чотири попередні точки (рис. 3.3).

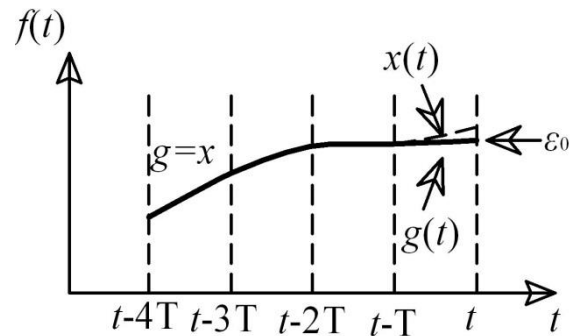


Рисунок 3.3 - Ілюстрація процесу екстраполяції

У момент спостереження $t=0$ в системі виникає помилка, рівна різниці між вхідним і вихідним сигналами.

$$\varepsilon t = g t - x t = \varepsilon_0 \quad (3.3)$$

Припустимо, що на виході екстрапольюючої системи генерується сигнал, що задається поліномом,

$$x t = a_0 t^3 + a_1 t^2 + a_2 t + a_3 \quad (3.4)$$

який в точності збігається з вхідним сигналом $g t$ у моменти часу $t-T, t-2T, t-3T, t-4T$.

$$g t - iT - x t - iT, i=1,2,3,4,\dots \quad (3.4)$$

де $t=0$.

Щоб в інтервалі часу $0 \leq t \leq T$ генерувався сигнал у вигляді полінома $x_1 t$, що співпадає з вхідним сигналом в моменти часу $0, -T, -2T, -3T$

$$x_1 t = a_0 + \sigma a_0 t^3 + a_1 + \sigma a_1 t^2 + a_2 + \sigma a_2 t + a_3 + \sigma a_3 \quad (3.5)$$

$$\varepsilon t = x_1 t - x t = \sigma a_0 t^3 + \sigma a_1 t^2 + \sigma a_2 t + \sigma a_3 \quad (3.6)$$

На підставі прийнятих положень, очевидно, що

$$\varepsilon t = \varepsilon_0 \left(1 + \frac{t}{T}\right) \left(1 + \frac{t}{2T}\right) \left(1 + \frac{t}{3T}\right)$$

або

$$\varepsilon t = t^3 \left(\frac{\varepsilon_0}{6T^3}\right) + t^2 \left(\frac{\varepsilon_0}{T^2}\right) + t \left(\frac{11\varepsilon_0}{6T}\right) + \varepsilon_0 \quad (3.7)$$

При реалізації екстраполюючого полінома на інтеграторі з коефіцієнтом підсилення k маємо напругу помилки:

$$U_\varepsilon t = t^3 \left(\frac{\varepsilon_0}{k^3 T^3}\right) + t^2 \left(\frac{2\varepsilon_0}{k^2 T^2}\right) + t \left(\frac{11\varepsilon_0}{6kT}\right) + \varepsilon_0 \quad (3.8)$$

У результаті отримана структурна схема екстраполюючої системи, рис. 3.4, за умови $kT = 1$.

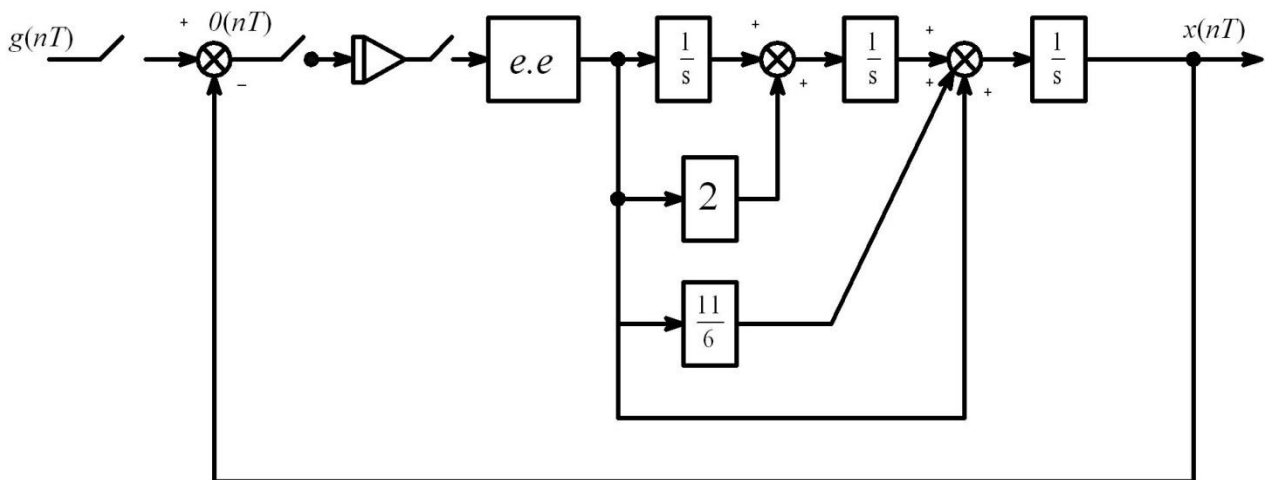


Рисунок 3.4 - Вихідна структурна схема екстраполяції третього порядку

Недоліком схеми є наявність сходинкових складових у вихідному сигналі, тому перейдемо до іншої схеми.

Дискретний накопичувач по суті є інтегратором, і схема може бути перетворена в іншу, більш досконалу схему без сходинок (рис. 3.5).

Отримаємо вираз для передавальної функції розімкнутої системи.

Відповідно до теорії Z-перетворення, для сигналу εnT на виході накопичувача маємо:

$$\varepsilon z = \frac{z}{z-1} \varepsilon z \quad (3.9)$$

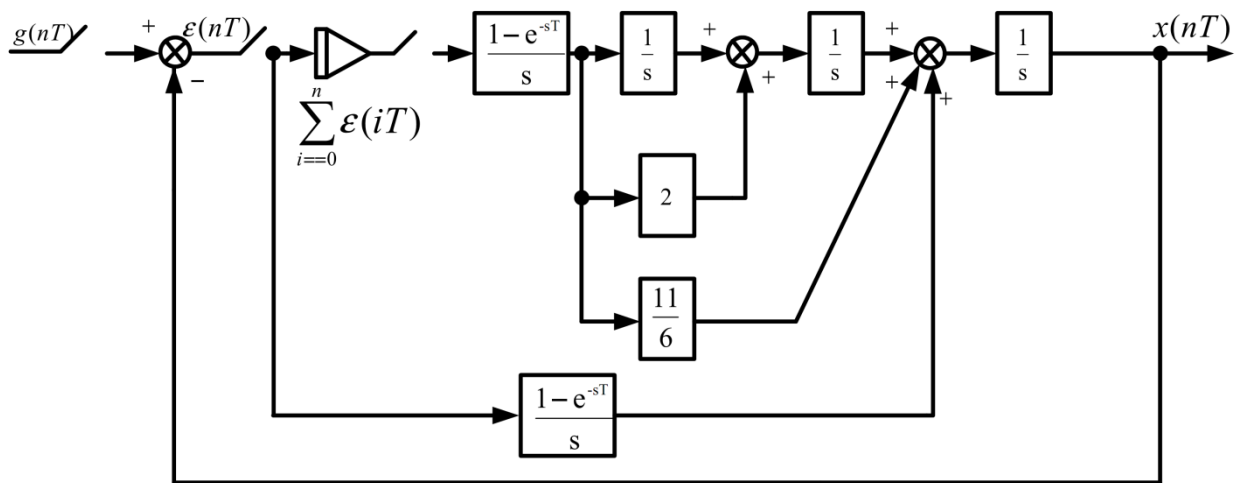


Рисунок 3.5 -. Покращена дискретна екстраполююча система третього порядку

Цю формулу ми використовуємо при виведенні виразу передаточної функції розімкнутої системи степеня на рис. 3.5.

$$Y_0^* z = \frac{z-1}{z} Z \left\{ \frac{1}{s^{n+1}} \right\} = \frac{T^n}{z-1} D_n z \quad (3.10)$$

За допомогою цієї формули отримаємо наступний вираз передавальної функції розімкнутої системи, зображеної на рис. 3.6.

$$Y^* z = \frac{z-1}{KTz} Z\left[\frac{K}{s^2}\right] + \frac{z}{z-1} \cdot \frac{z-1}{z} \left\{ \frac{11}{6KT} Z\left[\frac{K}{s^2}\right] + \frac{2}{KT^2} + \frac{1}{KT^3} Z\left[\frac{K^3}{s^4}\right] \right\}. \quad (3.11)$$

За допомогою таблиць Z-перетворення знаходимо:

$$Y^* z = \frac{1}{z-1} + \frac{11}{6} \frac{z}{z-1^2} + \frac{z}{z-1^3} + \frac{z}{6} \frac{z^2 + 4z + 1}{z-1^4} \quad (3.12)$$

або в іншому вигляді, більш придатному для моделювання, отримаємо, привівши даний вираз до спільного знаменника:

$$Y^* z = \frac{4z^{-1} - 6z^{-2} + 4z^{-3} - z^{-4}}{1 - 4z^{-1} + 6z^{-2} - 4z^{-3} + z^{-4}} \quad (3.13)$$

Передатна функція замкнутої системи дорівнює:

$$\Phi^* z = 4z^{-1} - 6z^{-2} + 4z^{-3} - z^{-4} \quad (3.14)$$

Імпульсна перехідна функція має кінцеве число імпульсів, тобто система стійка і має астатизм четвертого порядку.

Для ілюстрації методу екстраполяції в тимчасовій області, моделюємо екстраполюючу систему зі зворотним зв'язком з передатними функціями даного виду в програмі Matlab при вхідному сигналі у вигляді тимчасової дискретної лінійно наростаючої функції.

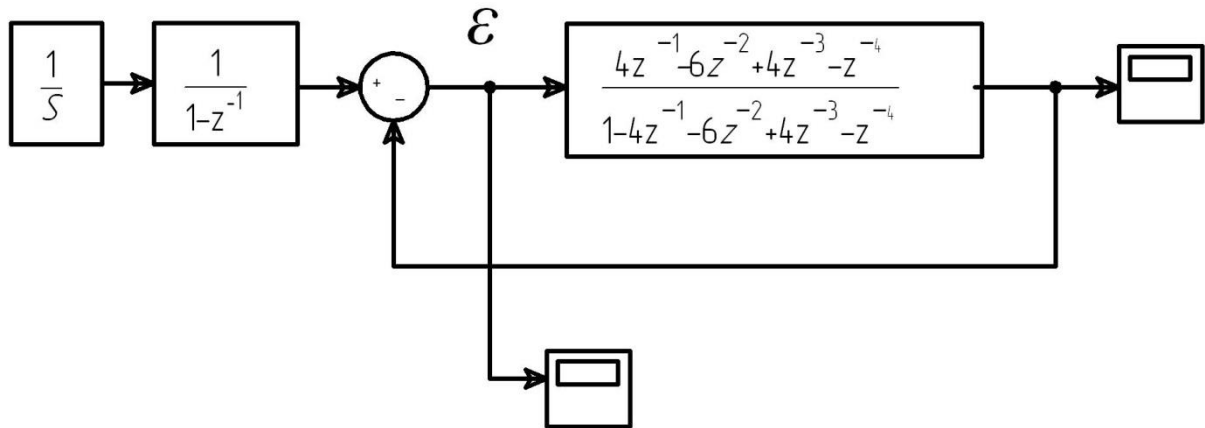


Рисунок 3.6 - Структурна схема моделювання системи екстраполяції при лінійно наростаючому вхідному сигналі

В результаті моделювання встановлена фізична реалізованість даної системи і висока точність екстраполяції поліномів до третього порядку включно. Перехідні процеси закінчуються після перших трьох періодів дискретності.

3.1.5 Екстраполююча система безперервної дії

Загальна автоматична система стеження за положенням Сонця наведена на рис. 3.2. Вона містить у складі контуру управління екстраполюючий пристрій і електричний привід з коригувальним фільтром як основні фактори, що впливають на якість управління, а саме точність і перехідні процеси.

Важливе значення має і лінійність пеленгаційної характеристики при формуванні сигналу помилки на точність екстраполяції положення Сонця в разі його затінення на тривалий час (близько 2-3 годин).

Передавальні функції екстраполюючої системи безперервної дії можуть бути отримані шляхом граничного переходу від дискретних екстраполюючих систем, які мають більш зрозумілий фізичний зміст. Разом з цим безперервні екстраполюючі системи можуть бути сформовані і самостійно.

Розглянемо методи отримання екстраполюючих фільтрів у формі передавальних функцій безперервних розімкнутих екстраполюючих систем від

першого до п'ятого порядку включно. Це необхідно для оцінки ефективності впливу екстраполяції на точність стеження за положенням Сонця в умовах тривалого затінення.

Зауважимо, в установці Буркова [7] при затіненні Сонця використовуються годинник для рівномірного руху сонячної батареї, щоб не вийти з режиму автоматичного спостереження.

Математично це означає, що використовується лінійна екстраполяція. З цього випадку і починаємо розгляд методів формування екстраполюючих фільтрів і оцінки впливу його на точність стеження.

3.1.5.1 Екстраполюючий фільтр першого порядку

Многочлен екстраполяції першого порядку має вигляд: $1 + t$.

Йому відповідає перетворення Лапласа:

$$W_1 = \frac{1}{s} + \frac{1}{s^2} = \frac{1+s}{s^2}$$

Фільтр розімкнутої екстраполюючої системи реалізує поліном екстраполяції Ньютона. Він має порядок чисельника на одиницю менше порядку знаменника і містить у своєму складі інтегруючу ланку. З точки зору реалізації системи з екстраполяцією і пристроями, якими управляють, доцільно операцію інтегрування віднести до функції об'єкта управління - електродвигуна в замкнутому колі управління. В результаті передавальної функцією - фільтром екстраполюючої ланки будемо вважати зображення екстраполюючого полінома без одного інтегруючого елемента. Таким чином, екстраполюючий фільтр першого порядку має вигляд:

$$W_e s = \frac{s+1}{s}$$

3.1.5.2 Екстраполюючий фільтр другого порядку

Екстраполюючий многочлен другого порядку має вигляд:

$$1+t \cdot \left(1 + \frac{t}{2}\right) = \frac{1+t}{2} \cdot \frac{2+t}{2} = \frac{2+3t+t^2}{2}.$$

Йому відповідає перетворення Лапласа:

$$W_1 = \frac{1}{s} + \frac{3}{2s^2} + \frac{1}{s^2} = \frac{2s^2 + 3s + 2}{2s^3}$$

Фільтр екстраполяції:

$$W_e \ s = \frac{2s^2 + 3s + 2}{2s^3}$$

3.1.5.3. Екстраполюючий фільтр третього порядку

Многочлен екстраполяції третього порядку має вигляд:

Йому відповідає перетворення Лапласа:

$$W_1 = \frac{1}{s} + \frac{11}{6s^2} + \frac{2}{s^3} + \frac{1}{s^4} = \frac{6s^2 + 11s^2 + 12s + 6}{6s^4}$$

Фільтр екстраполяції:

$$W_e \ s = \frac{6s^2 + 11s^2 + 12s + 6}{6s^4}.$$

3.1.5.4 Екстраполюючий фільтр четвертого порядку

Многочлен екстраполяції четвертого порядку має вигляд:

$$1+t \cdot \left(1+\frac{t}{2}\right) \cdot \left(1+\frac{t}{3}\right) \cdot \left(1+\frac{t}{4}\right) = \frac{24+50t+35t^2+10t^3+t^4}{24}.$$

Йому відповідає перетворення Лапласа:

$$W_1 = \frac{1}{s} + \frac{25}{12s^2} + \frac{35}{12s^3} + \frac{30}{12s^4} + \frac{1}{s^5} = \frac{12s^4 + 25s^3 + 35s^2 + 30s + 12}{12s^5}$$

Фільтр екстраполяції:

$$W_e(s) = \frac{12s^4 + 25s^3 + 35s^2 + 30s + 12}{12s^5}$$

3.1.5.5 Екстраполюючий фільтр п'ятого порядку

Многочлен екстраполяції п'ятого порядку має вигляд:

$$1+t \cdot \left(1+\frac{t}{2}\right) \cdot \left(1+\frac{t}{3}\right) \cdot \left(1+\frac{t}{4}\right) \cdot \left(1+\frac{t}{5}\right) = \frac{120+274t+225t^2+85t^3+15t^4+t^5}{120}.$$

Йому відповідає перетворення Лапласа:

$$\begin{aligned} W_1(s) &= \frac{1}{s} + \frac{274}{120s^2} + \frac{250}{120s^3} + \frac{510}{120s^4} + \frac{360}{120s^5} + \frac{1}{s^6} = \\ &= \frac{120s^5 + 274s^4 + 250s^3 + 510s^2 + 360s + 120}{120s^6} \end{aligned}$$

Фільтр екстраполяції:

$$W_e(s) = \frac{120s^5 + 274s^4 + 250s^3 + 510s^2 + 360s + 120}{120s^6}$$

У результаті отримана структура замкнутої системи стеження з екстраполяцією (рис. 3.7), в якій може бути теоретично застосований екстраполюючий фільтр будь-якого порядку (реально в межах від першого до

сьомого по причині технічного обмеження по точності і швидкодії обчислювальних засобів).

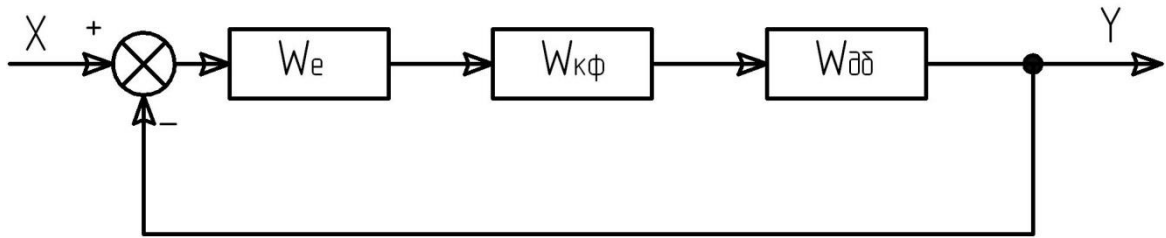


Рисунок 3.7 - Загальна структурна схема системи стеження з екстраполюючим фільтром

$W_{кф}$ - коригувальний фільтр електроприводу;

$W_{дб}$ - передатна функція електродвигуна

Порядок астатизму систем в межах від другого до шостого. Це дає можливість стеження за положенням Сонця навіть у тому випадку, коли відбувається затінення Сонця хмарами на тривалий час.

Передавальні функції фільтрів екстраполяції зведені в таблицю 3.1.

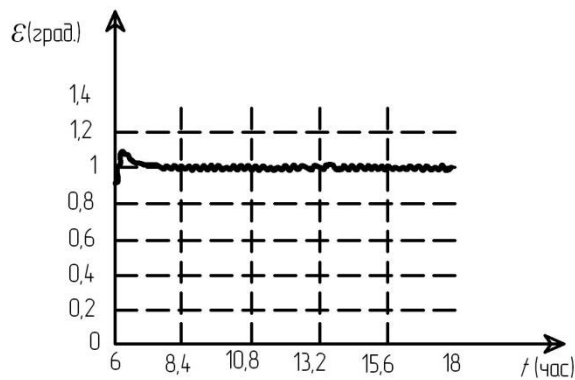
Таблиця 3.1 - Передавальні функції фільтрів екстраполяції

Порядок астатизму	Передавальні функції фільтрів екстраполяції $W_e s$ (з урахуванням інтегрування в об'єкті управління)
2	$\frac{s+1}{s}$
3	$\frac{s^2+1.5s+1}{s^2}$
4	$\frac{6s^3+11s^2+12s+6}{6s^3}$
5	$\frac{12s^4+25s^3+35s^2+30s+12}{12s^4}$
6	$\frac{120s^5+274s^4+250s^3+510s^2+360s+120}{120s^5}$

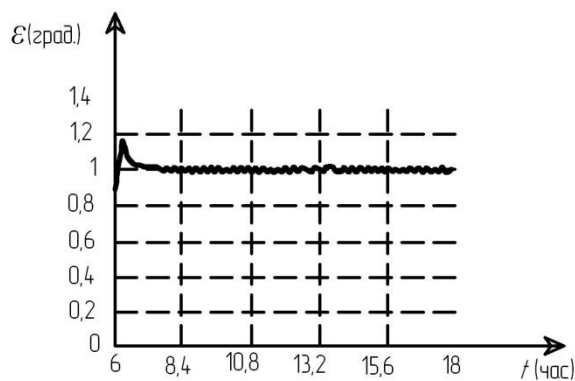
У ході аналізу за результатами моделювання були розглянуті фільтри екстраполяції від другого до шостого порядку астатизму у складі системи з

електроприводом. Досліджувалися перехідні характеристики з лінійним об'єктом - електроприводом. Електропривод моделюється на частотах прийомистості крокового електродвигуна в синхронному перехідному режимі у вигляді аперіодичної ланки з інтегруванням. Кориговальний фільтр електроприводу - форсуюча ланка зі згладжуванням.

В результаті стійкими системами виявилися системи з астатизмом до п'ятого порядку (рис. 3.8, 3.9). Однак прийнятні перехідні процеси без тривалих вагань тільки у систем до четвертого порядку включно. Ці системи і будуть розглядатися в подальшому.



б)



а)

Рисунок 3.8 - Перехідною процес системи з екстраполяцією: а) першого порядку, б) третього порядку

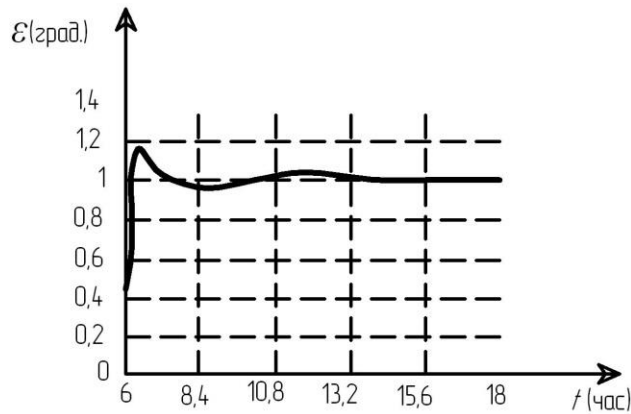


Рисунок 3.9 - Перехідний процес системи з екстраполяцією четвертого порядку (з астатизмом п'ятого порядку)

Зауважимо, перехідний процес системи з екстраполяцією четвертого порядку дещо затягнутий, тому його точність на кінцевій ділянці часу (в межах спостереження) нижча.

3.2 Система управління із застосуванням мікропроцесора

Система автоматичного управління із застосуванням мікропроцесора представлена функціональною схемою на рис. 3.10.

На цьому рисунку позначені найбільш повно всі значущі пристрої і функціональні зв'язки в загальній схемі автономної установки з автоматичним управлінням і зв'язку між ними. Особливо складною є мікропроцесорна система, тому вона представлена у вигляді блок-схеми інтерфейсних зв'язків рис. 3.11.

Алгоритм системи управління сонячної установки має вигляд представлений на рис. 3.12.

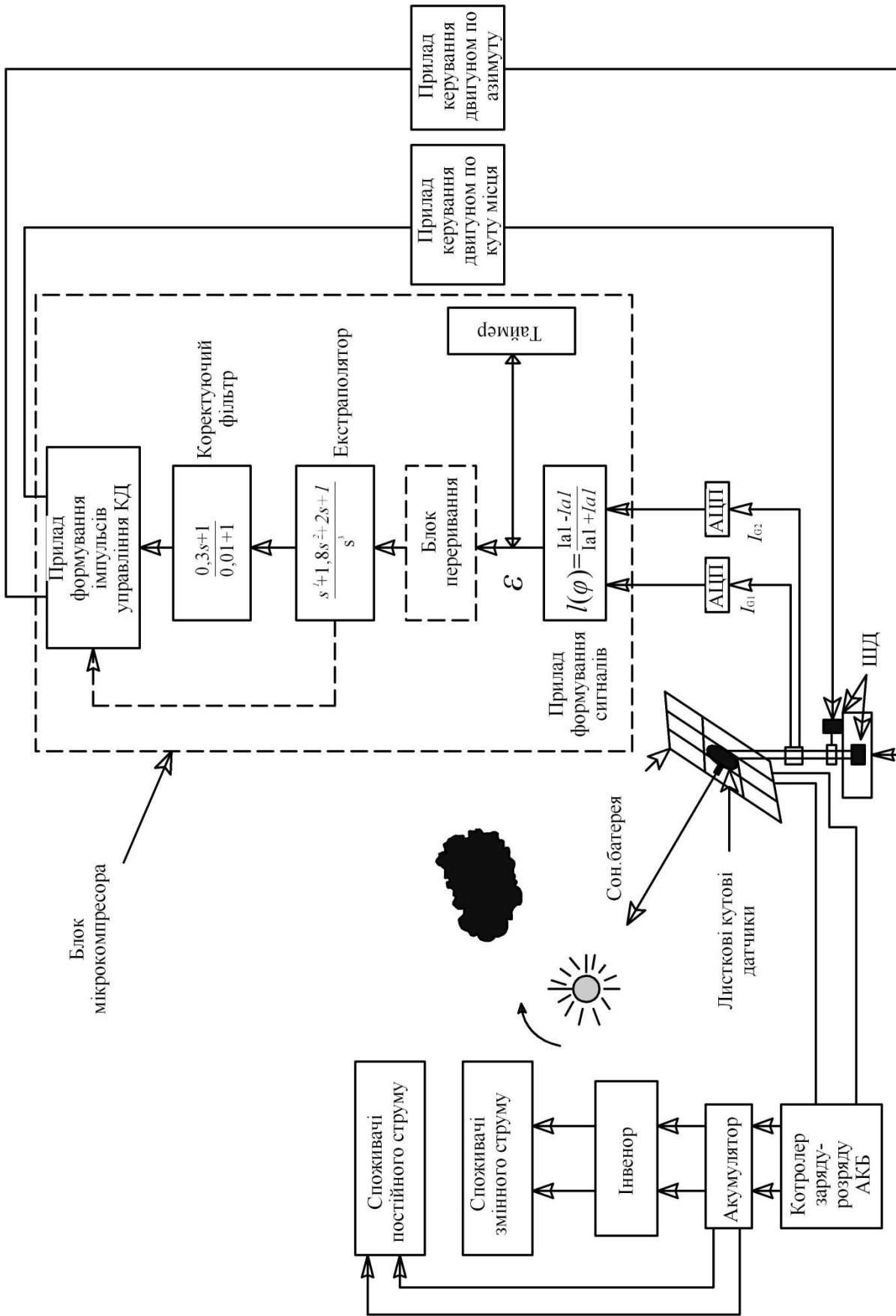


Рисунок 2.10 - Система управління із застосуванням мікропроцесора

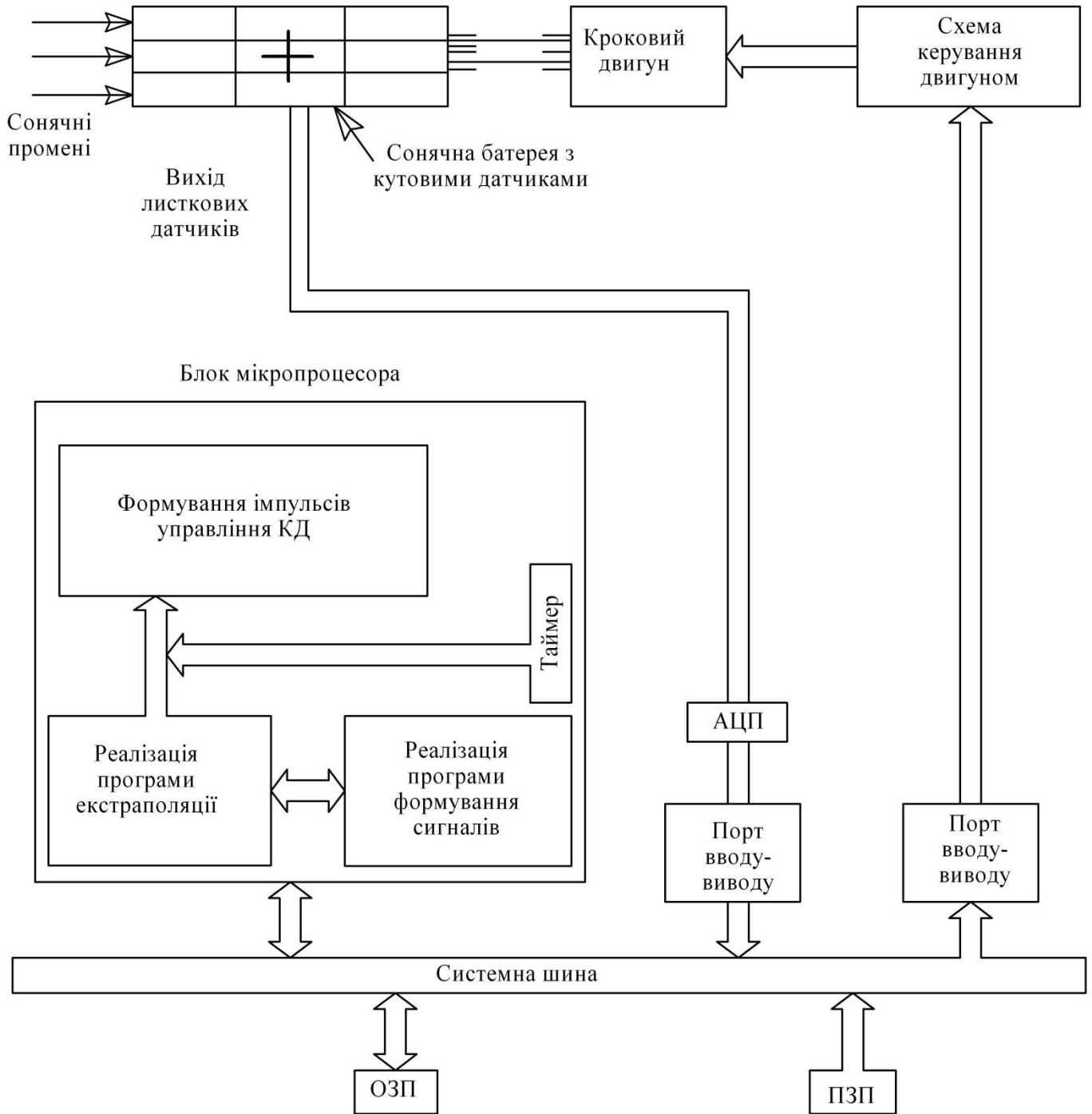


Рисунок 3.11 - Блок-схема сонячної установки з інтерфейсом мікропроцесора

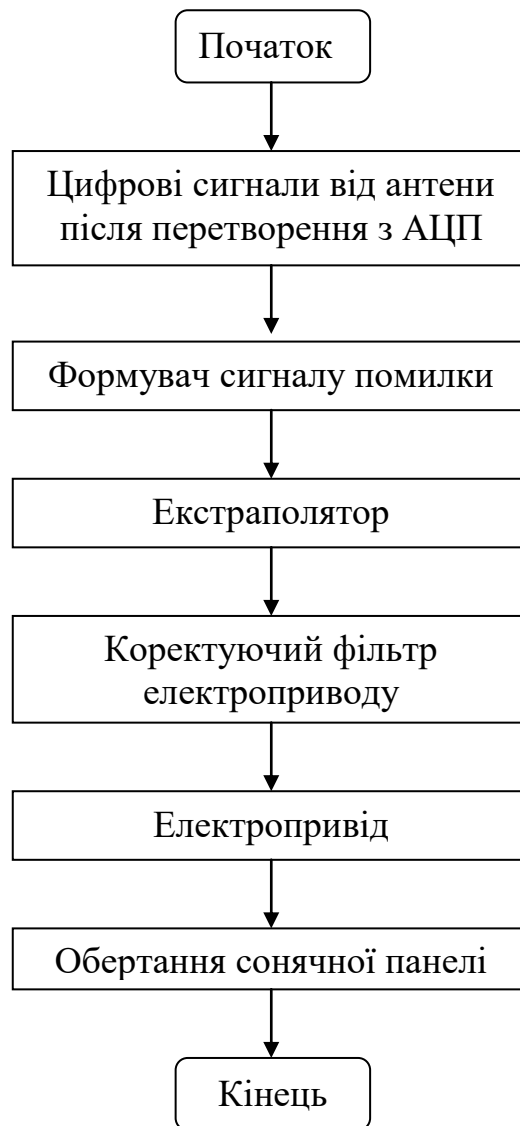


Рисунок 3.12 -. Алгоритм системи управління сонячної установки

3.3 Висновки до розділу

1. Перешкоди типу затінювання Сонця на тривалий період часу або плавні повороти при русі сонячної установки на рухомому транспорті, справляють істотний вплив на роботу системи аж до відключення автоматичного стеження.

2. Для реалізації процесу автоматичного стеження запропоновано проводити екстраполявання - прогнозування майбутнього значення вхідного сигналу.

3. На основі проведених досліджень, запропоновано схему та алгоритм роботи системи стеження на основі використання мікропроцесора, який опрацьовує дані від параболічного пелюсткового датчика положення Сонця і методом екстраполяції здійснює керування кроковими електродвигунами електроприводу.

4. Для запропонованої системи час максимального затінення становить 2-3 години, при яких позиціонування не виходить за межі похибки.

4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

4.1 Захист від статичної електрики

Як зазначено у [11]: «Статична електрика – це сукупність явищ, що пов'язані з виникненням, накопиченням та релаксацією вільного електричного заряду на поверхні або в об'ємі діелектричних та напівпровідникових речовин, матеріалів та виробів. » Виникнення зарядів статичної електрики є результатом складних процесів перерозподілу електронів чи іонів при стиканні двох різнорідних тіл (речовин). Порушення поверхневого контакту при терті тіл призводить до електризації - виникнення електричних зарядів, які можуть утримуватись на поверхні цих тіл протягом тривалого часу. Такі заряди, на відміну від рухомих зарядів динамічної електрики (електричний струм) знаходяться у статичному стані.

Електричні заряди виникають:

- при терті діелектричних тіл один об одного або об метал (наприклад, пасові передачі);
- при переливанні, перекачуванні, перевезенні в ємностях горючих та легкозаймистих рідин;
- при транспортуванні горючих газів трубопроводом;
- при подрібненні діелектриків;
- при переміщенні сухого запиленого повітря зі швидкістю понад 15 – 20 м/с і т.п.

У [11] автор стверджує, що: «За сприятливих умов, наприклад, при низькій вологості повітря статичні заряди не лише утворюються, а й накопичуються. Коли в результаті такого накопичення вони набудуть високого потенціалу, то може виникнути швидкий іскровий розряд між частинами устаткування або розряд на землю. Такий іскровий розряд при наявності горючих сумішей може спричинити вибух чи пожежу. В цьому і полягає

основна небезпека статичної електрики. Заряди статичної електрики можуть утворюватись чи передаватись (контактним або індукційним шляхом) тілу людини. Якщо виникнуть іскрові розряди, то вони викликають фізіологічну дію у вигляді уколу чи незначного поштовху, які самі по собі не являють небезпеки для людини (сила струму розряду дуже мала). Однак, враховуючи неочікуваність такого розряду, у людини може виникнути переляк, внаслідок якого може відбутись рефлекторний рух, що в низці випадків призводить до травмування (робота на висоті, біля рухомих незахищених частин устаткування тощо).»

Систематичний вплив електростатичного поля підвищеної напруженості негативно впливає на організм людини, викликаючи, в першу чергу, функціональні розлади центральної нервової та серце-судинної систем. Відповідно до ГОСТ 12.1.045-84 гранично допустима напруженість електричного поля $E_{доп}$ на робочих місцях не повинна перевищувати 60 кВ/м, якщо час впливу t_v не перевищує 1 год; при $1 \text{ год} < t_v < 9 \text{ год}$ – $E_{доп} = 60\sqrt{t_v}$.

Захист від статичної електрики та її небезпечних проявів досягається трьома основними способами:

- запобіганням виникнення та накопичення статичної електрики,
- прискоренням стікання електростатичних зарядів,
- нейтралізацією електростатичних зарядів.

Запобігти виникненню статичної електрики чи зменшити її величину можна заміною небезпечної технології, зменшенням швидкості руху речовини по трубопроводу, виготовленням поверхонь, що труться, з однорідних матеріалів.

Прискоренню стікання зарядів сприяє заземлення устаткування, збільшення електропровідності матеріалів шляхом нанесення на їх поверхню антистатичних добавок чи присадок, підвищення відносної вологості повітря.

Нейтралізація зарядів статичної електрики здійснюється внаслідок іонізації повітря індукційними, високовольтними, радіоактивними та комбінованими нейтралізаторами.

4.2 План дій органів управління і сил із запобігання і ліквідації надзвичайних ситуацій на об'єктах електроенергетики

Найбільш повне та організоване виконання заходів ЦО щодо запобігання надзвичайним ситуаціям техногенного та природного характеру на об'єктах електроенергетики досягається завчасною розробкою плану заходів, які необхідно проводити при загрозі або виникненні НС.

У відповідності з [12]: «План дій органів управління і сил ЦО (міністерств, відомств, областей, районів, міст, підприємств, установ і організацій) із запобігання і ліквідації надзвичайних ситуацій розробляється на підставі законодавчих, директивних і нормативних документів і призначений для координації і діяльності центральних і місцевих органів виконавчої влади, керівництва ОГД, а також оперативності їх реагування на загрозу і виникнення НС, відвернення або зниження можливої загибелі людей, мінімізація матеріальних збитків і втрат та організацію задоволення першочергових потреб населення, яке постраждало. »

План визначає порядок дій і відповідальність керівництва відповідних органів управління підприємств, установ і організацій електроенергетики, а також основні заходи щодо організації і проведення робіт із запобігання і ліквідації НС техногенного і природного походження, узгодження термінів їх виконання, фінансові, матеріальні та інші ресурси, які необхідні для цих заходів і робіт. У план дій включаються заходи щодо захисту робітників і службовців, підтримування виробничої діяльності та інші з урахуванням обстановки після виникнення НС, передбачаються необхідна кількість сил і засобів для ліквідації наслідків НС.

При плануванні використовуються необхідні вихідні дані та довідкові матеріали з урахуванням специфіки роботи та особливостей щодо відомчої та регіональної діяльності підприємства, організації чи установи.

План дій розробляється на підставі наказу начальника ЦО об'єкта. До розробки документів плану залучається керівний склад і спеціалісти об'єкта.

Начальник штабу ЦО складає графік розробки окремих документів (розділів) і контролює його виконання.

План дій розробляється у двох (при необхідності і більше) примірниках. Підписується план дій начальником штабу ЦО об'єкта, погоджується з територіальними управліннями (відділами) з питань надзвичайних ситуацій та у справах захисту населення від наслідків Чорнобильської катастрофи і затверджується начальником ЦО об'єкта (підприємства, організації, установи, незалежно від форм власності і підпорядкування). Після затвердження зміст плану дій доводиться до виконавців.

Щорічно, станом на перше січня, план коригується і вносяться відповідні зміни. Реальність плану перевіряється під час командно-штабних, комплексних об'єктових навчань та об'єктових тренувань Цивільної оборони.

План дій органів управління і сил ЦО із запобігання та ліквідації НС — це програма здійснення запобіжних та захисних заходів. Він дозволяє цілеспрямовано та організовано вирішувати завдання ЦО в умовах НС мирного та воєнного часу.

Основу плану складають заходи щодо захисту робітників, службовців і членів їх сімей. При визначенні цих заходів враховується важливість та особливості виробничої діяльності об'єкта, основні завдання органів управління та сил ЦО щодо запобігання і ліквідації НС.

План дій органів управління та сил ЦО на мирний час складається із п'яти розділів текстової частини і додатків до них. Текстова частина плану включає [12]:

Розділ 1. Висновки із оцінки обстановки на території об'єкта.

Розділ 2. Приведення в готовність та організація роботи органів управління у НС.

Розділ 3. Сили ЦО об'єкта, що залучаються до виконання аварійно-рятувальних, пошукових та відновлювальних робіт.

Розділ 4. Організація забезпечення заходів та дій ЦО.

Розділ 5. Організація управління, оповіщення і зв'язку.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

1. Перешкоди типу затінювання Сонця на тривалий період часу або плавні повороти при русі сонячної установки на рухомому транспорті, справляють істотний вплив на роботу системи аж до відключення автоматичного стеження.

2. На основі аналізу багатьох методів визначення положення Сонця запропоновано пелюстковий метод параболічних поверхонь локації Сонця з рівносигнальною зоною, який є найбільш прийнятним з точки зору реалізації по точності, чутливості і лінійності пеленгаційної характеристики в межах інтервалу часу затінення Сонця до двох-трьох годин.

3. В результаті аналізу можливих типів електродвигунів, які можуть використовуватись в якості виконавчого елемента електроприводу, встановлено, що найбільш енергоефективні та точні щодо позиціонування є крокові електродвигуни.

4. Для реалізації процесу автоматичного стеження запропоновано проводити екстраполявання - прогнозування майбутнього значення вхідного сигналу.

5. На основі проведених досліджень, запропоновано схему та алгоритм роботи системи стеження на основі використання мікропроцесора, який опрацьовує дані від параболічного пелюсткового датчика положення Сонця і методом екстраполяції здійснює керування кроковими електродвигунами електроприводу.

6. Для запропонованої системи час максимального затінення становить 2-3 години, при яких позиціонування не виходить за межі похибки.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Алферов Ж. ИТ., Андреев В. М. Перспективы фотоэлектрического метода преобразования солнечной энергии // Преобразование солнечной энергии / Под ред. Н. Н. Семенова. М.: ИХФ АН СССР, 1981. С. 7—20.
2. Андерсон Б. Солнечная энергия (основы строительного проектирования): Пер. с англ. / Под ред. Ю. Н. Малевского. М.: Стройиздат, 1982.
3. Актуальні задачі сучасних технологій : зб. тез доповідей міжнар. наук.-техн. конф. Молодих учених та студентів, (Тернопіль, 25–26 листоп. 2020.) / М-во освіти і науки України, Терн. націон. техн. ун-т ім. І. Пулюя [та ін]. – Тернопіль : ТНТУ, 2020. – С. 111.
4. Независимый Научно-Технический Портал <http://www.ntpro.com/>
5. Патент Российской Федерации RU2125686. Солнечная установка.
6. Патент Российской Федерации RU2298860. Солнечная электростанция.
7. Патент российской федерации RU2280217. Панель солнечной батареи конструкции Буркова Л.Н.
8. Young L. E. Solar array technology for solar electric propulsion missions // AIAA Pap. N 79-2086. New York, 1979. 5 p. (ЭИ АРД. 1981 №. 7).
9. O'Neill M. J. The 25 kW Fresnel lens photovoltaic concentrator application experiment at Dallas—Fort Worth airport // 14th IEEE Photovolt. spec, conf. New York: IEEE, 1980. P. 125—130.
10. Мак-Вейг Д. Применение солнечной энергии; Пер. с англ./ Под ред. Б. В. Таришевского. М; Энергоиздат, 1981.
11. В.Ц. Жидецкий, В.С. Джигирей, О. В. Мельников. Основи охорони паці. — Вид. 2-е, стереотипне. — Львів: Афіша, 2000. — 348 с.
12. Цивільна оборона та цивільний захист: Підручник. — 2-ге вид., перероб. Затверджено МОН / Стеблюк М.І. — К., 2010. — 487 с.