

АНОТАЦІЯ

Тема кваліфікаційної роботи: Удосконалення автоматизованого електроприводу позиціонування параболічної антени.

У кваліфікаційній роботі здійснюється розробка заходів з удосконалення автоматизованого електроприводу позиціонування параболічної антени супутникових систем зв'язку.

У роботі проведено огляд літератури в галузі керування наземними антенами супутникового зв'язку і розглянуті питання побудови систем автоматизованого керування антенними системами.

Проведена модернізація автоматизованої системи керування параболічною антеною, розробленої на Тернопільському заводі “Сатурн”. Розроблена нова схема керування, яка базується принципі екстремального наведення, тобто автоматичного наведення на максимум сигналу, що приймається і виконана на основі одно кристальної мікро-ЕОМ.

Розроблена схема силового слідкуючого приводу для керування виконавчими механізмами опорно-поворотного пристрою.

Проведено аналіз результатів конструкторського проектування на ПК.

ЗМІСТ

ВСТУП	6
1 АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА	7
1.1 Аналіз відомих технічних рішень в галузі керування наземними антенами супутникового зв'язку	7
1.2 Обґрунтування актуальності вибраного напрямку розробки	19
2 ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА	21
2.1 Характеристика процесу, що лежить в основі розробки	21
2.2 Характеристика виробу та його призначення	26
2.3 Конструктивні особливості виробу	29
3 КОНСТРУКТОРСЬКА ЧАСТИНА	36
3.1 Розрахунок вітрових навантажень	36
3.2 Проектування і розрахунок елементів силового слідкую чого приводу ..	38
3.2.1 Структура електроприводу	38
3.2.2 Вибір та обґрунтування схеми з'єднання тиристорного перетворювача	39
3.2.3 Розрахунок параметрів та вибір типу вентилів, силових трансформаторів та інших елементів силового ланцюга	41
3.2.4 Вибір і розрахунок засобів захисту вентилів та інших елементів силового ланцюга	45
3.2.5 Вибір схеми керування тиристорним перетворювачем	47
3.2.6 Вибір типів регуляторів, здавачів регульованих координат	48
4 НАУКОВО-ДОСЛІДНА ЧАСТИНА	51
4.1 Принцип і схема вибору люфта в механізмах наведення ССП	51
4.2 Вплив деформації дзеркальної системи антени на її радіотехнічні характеристики і способи компенсації цих деформацій	57
5 СПЕЦІАЛЬНА ЧАСТИНА	62
5.1 Використання пакету САD-системи для автоматизованого проектування друкованої плати	62
5.2 Аналіз результатів конструкторського проектування на ЕОМ	64

6 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ	70
6.1 Використання захисних елементів	70
6.2 Правила розміщення щитів і пультів у технологічних приміщеннях	72
6.3 Пожежна безпека	74
6.4 Пожежний захист виробничих об'єктів	76
ВИСНОВКИ	79
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ	80

ВСТУП

Системи супутникового зв'язку – це такі системи, в яких штучний супутник Землі служить ретрансляційною станцією. Супутниковий зв'язок широко поширений у всьому світі і використовується для створення міжнародних, міжміських, магістральних та інших ліній зв'язку, виділених ділових мереж зв'язку і передачі даних на основі малих наземних станцій, встановлених безпосередньо у споживача, багатoprogramного телебачення.

Переваги супутникового зв'язку і причини його широкого розвитку наступні.

Супутникові системи дозволяють збільшити кількість телевізійних програм у порівнянні з наземними, так як число частотних каналів останніх обмежене; значно розширити територію прийому; створити автономні виділені мережі зв'язку для розкиданих по великій території об'єктів та рухомих об'єктів, які знаходяться на суші і морі; створити ліній безпосереднього зв'язку між державами, які не мають спільних кордонів.

У ряді ситуацій системи супутникового зв'язку є дешевшими від наземних, наприклад, у важкодоступних, віддалених районах. Їх можна швидше вводити в дію.

Розвиток техніки супутникового зв'язку викликав до життя нові проблеми і методи їх вирішення, такі як багато станційний доступ – передача сигналів різних земних станцій через загальний бортовий ретранслятор; розрахунок зон, які покриваються сигналами супутника на поверхні Землі; розрахунок взаємних завад між супутниковими системами; прийом досить слабких сигналів; керування і контроль віддаленого об'єкту.

1 ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ

1.1 Аналіз відомих технічних рішень в галузі керування наземними антенами супутникового зв'язку

До антен наземних станцій супутникових систем ставляться наступні вимоги [1]:

- a) Забезпечення високих електричних характеристик (коефіцієнт підсилення, діаграма направленості, коефіцієнт використання поверхні та ін);
- b) збереження параметрів антени при швидкості вітру до 20м/с (допускається деяке їх погіршення при швидкості вітру до 25м/с), а також при дії сонячної радіації, снігу, інших факторів, які характерні для кліматичних умов місця встановлення антени;
- c) збереження цілісності конструкції антени при швидкості вітру до 50м/с;
- d) можливість переорієнтації антени по азимуту і куту місця в кутових межах з швидкостями, які залежать від типу орбіти штучного супутника Землі;
- e) пошук, наведення і автоматичний супровід супутника з кутовою похибкою не більше $\pm 0.1D_{j0.5}$ ($D_{j0.5}$ – ширина діаграми направленості);
- f) висока економічна ефективність, яка визначається вартістю антени і затратами на її експлуатацію;
- g) великий термін служби (не менше 10 років) і висока надійність, яка характеризується коефіцієнтами готовності (не менше 0,9995) і можливістю проводити ремонтно-профілактичні роботи на антені без переривання зв'язку.

Антен системи звичайно класифікуються по діаметру основного дзеркала, так як він визначає складність, вартість та область застосування всієї антенної системи.

Антенна система з діаметром основного дзеркала 25 м [2]

Діапазон частот, ГГц:	
на передачу	6
на прийом	4
Глибина дзеркала	0,45
Середньоквадратична похибка дзеркала, мм	1,5
Коефіцієнт використання поверхні:	
на передачу	0,55
на прийом	0,74
Ширина діаграми, кут.хв	
на передачу	8
на прийом	12
Потужність, що підводиться до антени, кВт	5
Тип опорно-поворотного пристрою – повноповоротній	
Діапазон кутів переорієнтації, град:	
по азимуту	0..90
по куту місця	± 330
Максимальна швидкість переміщення антени, град/с	2,5
Межі точного наведення антени, град	± 33
	0..90
Максимальна похибка наведення	± 1,5
Допустима швидкість вітру, м/с:	
робоча	25
гранична	50
Маса антенної системи, т	350
Споживана потужність при переорієнтації, кВт	110

Антенна система з діаметром основного дзеркала 12м [2]

Діапазон частот, ГГц:	
на передачу	6
на прийом	4
Глибина дзеркала	0,25
Середньоквадратична похибка дзеркала, мм	0,6
Ширина діаграми, кут.хв	
на передачу	16
на прийом	24
Потужність, що підводиться до антени, кВт	5
Діапазон кутів переорієнтації, град:	
по азимуту	± 280
по куту місця	0..90
Максимальна швидкість переміщення антени, град/с	6
Межі точного наведення антени, град	± 280
	0..90
Максимальна похибка наведення	± 2
Допустима швидкість вітру, м/с:	
робоча	25
гранична	50

Маса антенної системи, т

350

Тип опорно-поворотного пристрою – повноповоротній

Антенна система з діаметром основного дзеркала 7м [2]

Діапазон частот, ГГц:	
на передачу	6
на прийом	4
Глибина дзеркала	0,4
Середньоквадратична похибка дзеркала, мм	1,5
Ширина діаграми, кут.хв	
на передачу	29
на прийом	41
Потужність, що підводиться до антени, кВт	3
Тип опорно-поворотного пристрою – повноповоротній	
Діапазон кутів переорієнтації, град:	
по азимуту	± 280
по куту місця	-1..100
Максимальна швидкість переміщення антени, град/с	1,5
Межі точного наведення антени, град	± 280
	-1..100
Максимальна похибка наведення	± 3
Допустима швидкість вітру, м/с:	
робоча	20
гранична	40
Маса антенної системи, т	6,5
Споживана потужність при переорієнтації, кВт	5

Антенна система з діаметром основного дзеркала 7м [2]

Діапазон частот, ГГц:	
на передачу	14
на прийом	11
Глибина дзеркала	0,15
Середньоквадратична похибка дзеркала, мм	0,6
Ширина діаграми, кут.хв	
на передачу	14
на прийом	16
Потужність, що підводиться до антени, кВт	3
Тип опорно-поворотного пристрою – неповноповоротній	
Діапазон кутів переорієнтації, град:	
по азимуту	± 45
по куту місця	0..90
Максимальна швидкість переміщення антени, град/с	0,05
Межі точного наведення антени, град	± 2,5
Максимальна похибка наведення	± 3
Допустима швидкість вітру, м/с:	
робоча	25
гранична	55

Маса антенної системи, т

6,5

Антенна система з діаметром основного дзеркала 4м [2]

Діапазон частот, ГГц:	
на передачу	14
на прийом	11
Ширина діаграми, кут.хв	
на передачу	21
на прийом	23,5
Потужність, що підводиться до антени, кВт	1,2
Тип опорно-поворотного пристрою – неповноповоротній	
Діапазон кутів переорієнтації, град:	
по азимуту	0..360
по куту місця	0..80
Максимальна швидкість переміщення антени, град/с	0,15
Межі точного наведення антени, град	± 6
Допустима швидкість вітру, м/с:	
робоча	30
гранична	30
Споживана потужність при переорієнтації, кВт	0,25

У вище описаних антенних системах застосовано опорно-поворотні пристрої двох типів: повно поворотні і неповно поворотні. Перші використовуються для роботи з нестаціонарними штучними супутниками Землі. Вони мають межі переорієнтації більше $\pm 270^\circ$ по азимуту і $0..90^\circ$ по куту місця. Другий тип опорно-поворотних пристроїв призначений для роботи з геостационарними штучними супутниками землі, нестабільність положення яких звичайно не перевищує $\pm 1,5^\circ$; відповідно в неповно поворотних опорно-поворотних пристроях є механічні пристосування (кронштейни) для грубої установки дзеркала вручну в межах $\pm 90^\circ$ і малопотужний електросиловий привід для точного наведення антени в межах $3..5^\circ$ [2].

Для наведення антен на джерело радіовипромінювання використовуються опорно-поворотні пристрої з механізмами для обертання відносно вибраних осей. Найбільше застосування на практиці завдяки своїй простоті знайшли двохвісні опорно-поворотні пристрої. Двохвісні опорно-поворотні пристрої наземних антенних установок будуються по одній з наступних кінематичних схем: екваторіальній (полярній), азимутально-кутомісній (горизонтальній) і

карданній.

Керована повно поворотна антена складається з наступних основних частин [1]:

- фокусує поверхонь з опромінюючими пристроями;
- опорно-поворотного пристрою і механізмів наведення;
- системи автоматичного керування.

Конструкція фокусує поверхонь і опромінювала прямо не впливає на проектування системи автоматичного керування наземної антенної установки, однак розміри антени і робоча довжина хвилі визначають вимоги до точності системи. Конструкція опорно-поворотних пристроїв і спосіб підвіски фокусує поверхонь з опромінювачами на опорно-поворотному пристрої, навпаки, повинні бути тісно пов'язані з системою керування, особливо по способах визначення кутових і лінійних переміщень відповідальних елементів антенної установки.

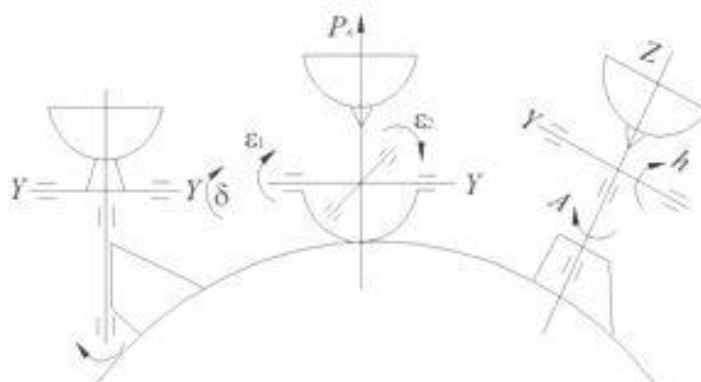


Рисунок 1.1 – Типи підвісок антенних установок

Основне призначення системи автоматичного керування наземними антенними установками заключається в наведенні максимуму діаграми направленості антени на космічний об'єкт.

Динамічні властивості систем автоматичного керування наземними антенними установками залежать від великої кількості факторів, які в основному визначаються:

- динамікою руху космічного об'єкту і конструктивними особливостями опорно-поворотного пристрою;

динамічними характеристиками металоконструкцій опорно-поворотного пристрою і механізмів наведення;

- характеристиками збуджень і завад, які діють на систему і об'єкт керування в процесі стеження за космічним об'єктом;
- особливостями побудови систем автоматичного керування наземними антенними установками в цілому.

Антени порівняно невеликих розмірів часто встановлюють під радіо прозорими покриттями. На них не діють вітрові навантаження і на їх роботу менше впливають кліматичні умови. Прикладом може служити антенна установка в Хейстеці (США) з діаметром дзеркала 36,6 м [1] і укриттям діаметром 46м. Однак втрати потужності сигналів через укриття, особливо, коли воно мокре, значно збільшує загальну шумову температуру приймальної системи. Крім того, вартість таких конструкцій може бути значно більшою, ніж важких, жорстких конструкцій установок без укриттів.

В залежності від способу формування керуючих сигналів в сучасних системах автоматичного керування наземними антенними установками розрізняють три основних режими роботи і програмного керування, авто супроводу, комбінованого наведення.

Принцип пеленгації оснований на порівнянні сигналів, прийнятих антеною по двох (або більше) діаграмах направленості.

Максимуми цих діаграм орієнтуються таким чином, щоб створений рівно сигнальний напрямок співпадав з геометричною віссю антени. Рівень сигналів, прийнятих по двох діаграмах направленості з цього напрямку буде однаковим. Сигнали, прийняті з інших напрямків будуть неоднаковими за рахунок відмінності коефіцієнтів підсилення по двох діаграмах. Різницевий сигнал, який появляється таким чином, (сигнал похибки) керує командами запуску електроводів антени. По мірі керування напрямку геометричної осі антени сигнал похибки зменшується і стає рівним нулю при її спів паданні з напрямком на штучний супутник Землі. На практиці, коли сигнал похибки стає меншим деякого заданого значення, виконавчі пристрої видають команди зупинки електроприводів.

Формування рівно сигнального напрямку може здійснюватись двома способами [1]:

1. Порівнянням сигналів, прийнятих послідовно по різних діаграмах направленості. Сюди відносяться системи з кінчним скануванням та екстремальним регулюванням. На рисунку 1.2 представлена структурна схема системи авто супроводу, яка працює по принципу рівно сигнальної зони в якій реалізується відомий принцип механічного сканування діаграмою направленості антени. Рівно сигнальна зона найбільш просто утворюється при обертанні ексцентрично розміщеного опромінювача навколо фокальної осі дзеркала. При відхиленні електричної осі антени від напрямку на космічний об'єкт, сигнал, що приймається, модулюється частотою сканування. По глибині фази модуляції можна оцінити величину і напрямок зміщення антени.

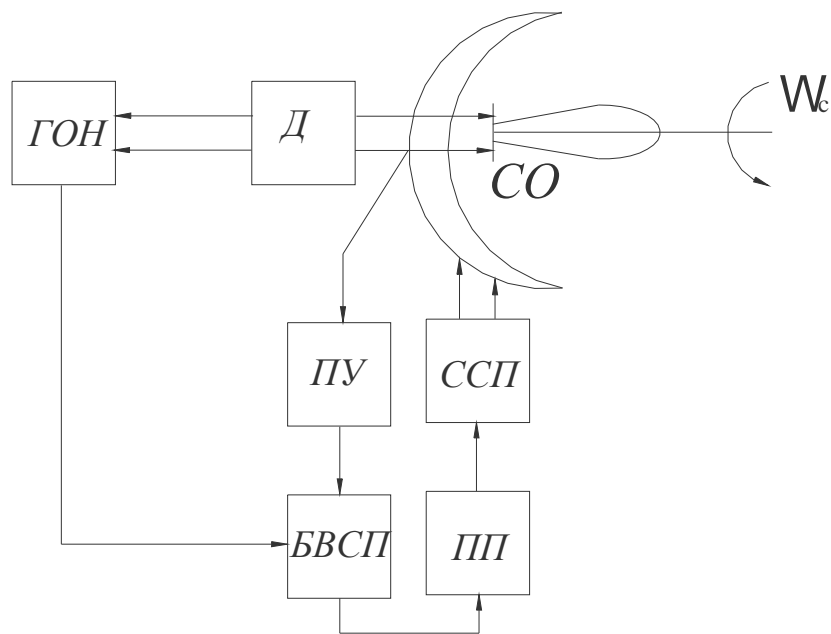


Рисунок 1.2 – Система автосупроводу з механічним скануванням
СО – скануючий опромінювач; ССП – силовий слідкуючий привід; Д – двигун; ГОН – генератор опорної напруги; ПП – підсилювач перетворювач;; БВСП – блок виділення сигналу похибки.

Система автосупроводу з механічним скануванням при її простоті володіє наступними основними недоліками:

- робота системи проходить з модуляцією частоти сканування, так як вісь антени ніколи точно не співпадає з напрямком на космічний об'єкт;

- скануючий опромінював конструктивно складний і вносить додаткові втрати у високочастотний тракт;
- робота системи основана на використанні сигналу, прийнятого одним опромінювачем, діаграма направленості якого займає послідовно різні положення в просторі.

У системах з екстремальним регулюванням переміщення діаграми направленості проходить дискретно, одиничним кутовими скачками. Визначивши знак різниці рівнів сигналів до і після чергового скачка, можна забезпечити поворот осі антени в потрібному напрямку. Системи авто супроводу, які використовують метод екстремального врегулювання дозволяють спростити опромінюючу систему антен у порівнянні з випадком використання методу кінцевого сканування. Але їм властива порівняно низька швидкодія, яка визначається послідовним пошуком максимуму сигналу, що приймається, по кожній осі та інерційністю важких антенних систем земних станцій. Такі системи застосовують головним чином при роботі через штучний супутник Землі на геостаціонарні орбіті.

2. Порівнянням сигналів, прийнятих одночасно декількома діаграмами направленості (сумарно-різницевий або моно імпульсний метод). Моно імпульсна система авто супроводу може бути побудована по одному із наступних принципів фазового порівняння сигналів, амплітудного та порівняння сумарного і різницевого сигналів. Найбільш перспективною є система, основана на співставленні суми і різниці прийнятих сигналів. Різниця сигналів є не парна функція відхилення, а їх сума – парна функція. Відношення різниці сигналів до їх суми не залежить від абсолютних рівнів сигналів, а тільки від величини і знаку відхилення.

Одна із схем, що працює по сумарно різницевому принципу представлена на рисунку 1.3.

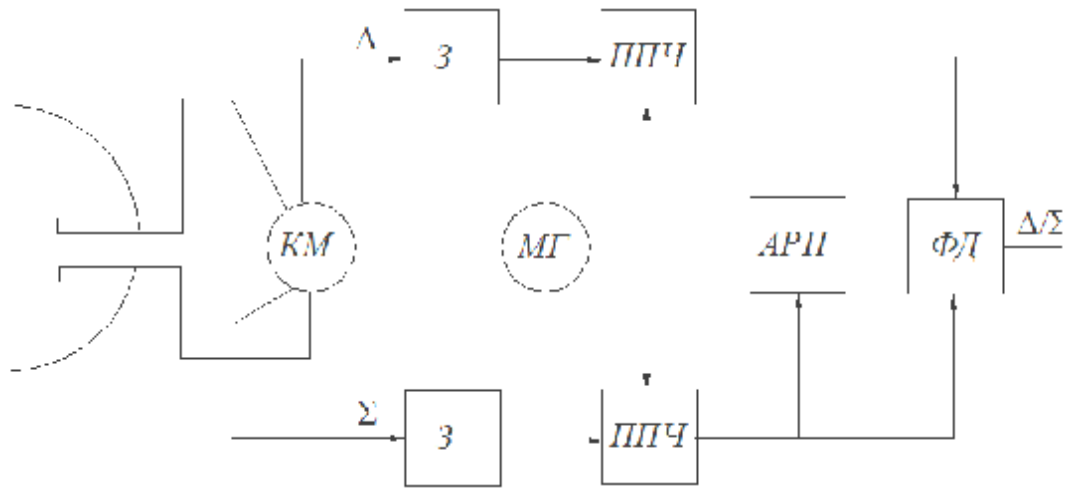


Рисунок 1.3 – Сумарно-різницевий принцип утворення сигналу похибки

На виході кільцевого мосту КМ утворюється сумарний і різницевий сигнали, які потім підсилюються і порівнюються синхронному детекторі. Підсилення підсилювача проміжної частоти ППЧ нормуються по сумарному каналу системою автоматичного регулювання підсилення АРП. Сигнал на виході синхронного детектора є пропорційним відношенню D/\dot{a} . До недоліків моно імпульсного методу можна насамперед віднести порівнянню складність високочастотного тракту і необхідність застосування двох, трьох канального приймального пристрою. Цих недоліків не має метод авто супроводу по максимуму сигналу (екстремальні системи).

Перевізна станція “Марс” [3]

Використана повно поворотна двохдзеркальна антена з діаметром дзеркала 7м, яка працює в діапазоні 4-6ГГц. Автоматичний супровід, оснований на кінчному скануванні, яке здійснюється з допомогою скануючої насадки з резонансним фазозсуваючим елементом.

Система “Орбіта”[3].

Система наведення і авто супроводу, якою обладнана станція “Орбіта-2” складається з пульта ПНС-52 і програмного пристрою наведення УПН-2. В склад УПН-2 входять безпосередньо сам програмний пристрій, система авто супроводу і блок виділення сигналу похибки з фазовими детекторами.

Система програмного наведення і автосупроводу працює в наступних режимах:

- a) програмного наведення при якому в пам'ять УПН-2 необхідно ввести параметри орбіти супутника, які перетворюються у вихідні напруги, пропорційні кутам повороту антени по азимуту і куту місця. Ці напруги поступають на електросиловий привід, що обертає антенну систему;
- b) авто супроводу супутника з використанням екстремального автомату, який здійснює пошук максимуму сигналу, що приймається послідовними кроками по 2^1 по азимуту і куту місця;
- c) авто супроводу з використанням методу кінцевого сканування.

Крім вказаних, можливі комбіновані режими роботи і режим програмного наведення з корекцією положення антени системою авто супроводу з використанням екстремального автомату або системою авто супроводу з кінцевим скануванням.

Станція “Москва” [3].

З метою підвищення надійності при тривалій роботі без обслуговування в приймальній станції “Москва” використовується спрощена система авто супроводу. При повільних і незначних кутових зміщеннях супутника, що є характерним для штучних супутників Землі на геостаціонарній орбіті, система авто супроводу найбільш просто реалізується на основі методу екстремального регулювання. Двокоординатний екстремальний автомат здійснює послідовний пошук екстремуму по двох координатних осях.

Сигнал з виходу амплітудного детектора тракту проміжної частоти (П4) приймальної стойки поступає на вхід аналогового-цифрового перетворювача (АЦП). На виході цього пристрою утворюється послідовність семизначних війкових комбінацій. Які відповідають рівню сигналу, що приймається. З метою збільшення завадостійкості роботи системи авто супроводу в ній застосовано цифрове інтегрування, яке здійснюється шляхом усереднення 1024 відліків вхідного сигналу. Час інтегрування може змінюватись від 2с до 0,5год. В компараторі здійснюється порівняння результатів цифрового інтегрування на двох суміжних часових інтервалах. В результаті цього порівняння на виході компаратора з'являється один з трьох можливих сигналів: “більше”, “менше”,

“рівне”.

Вказані сигнали поступають далі в логічний блок, який в залежності від послідовності поступаючи на його вхід сигналів формує сигнали керування механізмом наведення. Якщо логічний блок, який фактично являє собою нескладний процесор, знаходиться в стані першого такту роботи, він формує команди, що відключають електропривід. В цьому такті інтервал інтегрування, який визначається швидкістю кутового переміщення супутника, вибирається достатньо великим (від 0,5 год). Перехід в другий такт проходить тільки в тому випадку, якщо з виходу компаратора поступив сигнал “менше”, який означає, що рівень сигналу зменшився на деяку задану величину. В другому такті вмикається привід по одній з осей і діаграма направленості антени відхиляється на один крок, рівний 15° . якщо сигнал при цьому зріс (“більше”) система переходить в третій такт роботи і переміщає діаграму направленості в напрямку першого кроку до тих пір, поки сигнал не перестав зростати або не почне зменшуватись. Якщо ж при першому кроці пройшло зменшення рівня сигналу система переходить в п'ятий такт, де здійснюється реверс двигуна цієї осі. Після знаходження екстремуму по одній осі аналогічні операції здійснюється по другій осі, після чого двигуни зупиняються і система переходить в такт виміру. Для прискорення пошуку екстремуму час інтегрування в тактах 2-4 скорочено до 2с.

Задача наведення антени на супутник з врахуванням малих кутових переміщень супутника вирішено шляхом коливання опромінювача в двох взаємно-перпендикулярних площинах.

Силовий слідкуючий привід є виконавчим механізмом в системах автоматичного керування наземними антенними установками, без якого неможлива робота в жодному з існуючих режимів. Досвід проектування та експлуатації антенних установок [6] показує, що для приводів наведення найбільш близькі по техніко-економічних показниках є електромеханічні силові слідкуючі приводи. Розвиток напівпровідникової техніки привело до створення силових слідкуючих приводів з пересувними перетворювачами в якості підсилювачів потужності, які мають ряд переваг перед

електромашинним приводом:

- відсутність обертових частин і щіткових контактів;
- практична безінерційність;
- високий коефіцієнт підсилення по потужності;
- постійна готовність до дії;
- більш високі економічні показники;

Ці властивості тиристорних перетворювачів дозволяють створити електроприводи для наведення наземних антенних установок, які володіють високими показниками якості по швидкодії, діапазону регулювання, статичній і динамічній точності. У тих випадках, коли до силового приводу ставляться вимоги високої динамічної точності при великій швидкодії і широкому діапазоні регулювання по швидкості, в останній час одержали широке застосування системи, побудовані по принципу послідовної компенсації, постійних часу приводу або системи підпорядкованого регулювання.

Одна з основних особливостей побудови систем автоматичного керування наземними антенними установками заключається в застосуванні багатодвигунного електроприводу, використання якого обумовлене наступними факторами [1]:

- великими моментами інерції і навантаження, при яких потужності одного двигуна недостатньо для наведення в заданому діапазоні швидкостей і прискорень з потрібною точністю;
- необхідністю просторового розподілу управляючих дій для збереження форми і мінімізації деформації антенні установки в процесі слідкування за космічним об'єктом;
- можливістю побудови багатоканальних систем автоматичного керування.

У системах супутникового зв'язку положення супутника по відношенню до наземної станції не залишається постійним, а змінюється з часом. Якщо супутник знаходиться на геостаціонарній орбіті, то ці зміни обумовлені точністю виведення супутника на орбіту або збуджуючою дією полів тяжіння Землі і Місяця, а також іншими факторами. Якщо супутник знаходиться на

еліптичній орбіті, то його переміщення обумовлене характером орбіти.

З іншого боку, антени наземних станцій супутникового зв'язку володіють високою направленістю, при якій ширина головної "пелюстки" діаграми направленості по рівні 3 05 складає десяті долі градуса. Для уникнення енергетичних втрат радіолінії відбивання променя від напрямку на штучний супутник землі не повинно перевищувати десятої долі ширини діаграми направленості і може складати соті долі градуса.

1.2 Обґрунтування актуальності вибраного напрямку розробки

Запуск першого штучного супутника Землі поклав початок освоєнню космічного простору. Виникла і швидко розвивається нова область радіоелектроніки – космічний радіозв'язок. Створені центри далекого космічного зв'язку з унікальними антенами, потужними передавачами і високочутливими приймачами, сучасними ЕОМ, які дозволяють керувати польотом і приймати інформацію від штучних космічних апаратів, які знаходяться на відстанях в сотні мільйонів кілометрів від Землі. Одночасно будується велика кількість станцій для стеження за супутниками і зв'язку між наземними пунктами через штучні супутники; задача наведення антенних установок на супутники і практично цілодобового їх супроводу незалежно від метеорологічних умов перетворилась у порівняно важку технічну проблему.

Космічний радіозв'язок міцно зайняв своє місце в системі зв'язку всього світу. Збільшується кількість супутників зв'язку, одночасно працюючих на космічних орбітах, застосовуються нові діапазони частот. Активно ведеться науковий і технічний пошук збільшення пропускної здатності ліній космічного зв'язку.

Створення систем супутникового зв'язку пов'язане з великими капітальними та експлуатаційними затратами, в цей же час вартість каналів супутникового зв'язку не залежить від відстані між земними станціями. Це призводить до того, що такі системи являються економічно ефективними для зв'язку достатньо віддалених земних пунктів.

Лінії супутникового зв'язку універсальні у відношенні передаваної інформації, внаслідок широкополосності і великої пропускну здатності вони можуть бути використані для обміну телевізійними та радіопрограмами, передачі багатоканальних телевізійних повідомлень, телеграфних і фототелеграфних сигналів, а також цифрової інформації.

Створення систем автоматичного керування сучасними наземними антенними установками для космічного зв'язку та радіоастрономії являє собою важку технічну задачу, рішення якої пов'язане з використанням найновіших досягнень науки і техніки в різних областях. Сучасні керовані антенні установки являють собою клас технічних задач систем, де тісно переплітаються і взаємопов'язані самі різноманітні напрямки науки і техніки: теорія антен і проектування просторових металоконструкцій, теорія автоматичного керування і обчислювальна техніка, аеродинаміка і електроніка, теорія пружних коливань і вимірювальна техніка і ін. Оскільки орбіта космічного об'єкту. За яким ведеться стеження, звичайно добре відома, основним режимом роботи системи автоматичного керування являється наведення по програмі. Однак в сучасних системах передбачені режими авто супроводу і комбінованого наведення.

2 ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА

2.1 Характеристика процесу, що лежить в основі розробки

Як відомо, геометрична форма діаграми направленості антени (ДНА) має явно виражений максимум. Ця властивість ДНА дозволяє розглядувати антенну установку як об'єкт керування з екстремальною характеристикою.

У загальному випадку екстремальна характеристика антени в достатньо широкій області поблизу максимуму діаграми може бути описана наступним виразом [6]:

$$S(q_1, q_2) = D^M(q_1, q_2) + e,$$

де $S(q_1, q_2)$ – потужність сигналу, що приймається антеною;

D^M – випуклий нелінійний оператор;

q_1, q_2 – координати наведення антенної установки;

e – завада.

Очевидно, що потужність сигналу, що приймається, буде залежати від того, наскільки точно фактична орієнтація антенної установки буде відповідати істинному положенню космічного об'єкта. Не дивлячись на те, що положення всіх космічних об'єктів (супутників) є відомим з достатнім ступенем точності, потужність сигналу, що приймається майже завжди буде меншою максимально можливою, оскільки наведення здійснюється з кінцевою похибкою.

Створення екстремальних систем дозволяє уникнути потужності сигналів, що приймаються, суттєво спростити апаратуру приймальних пристроїв і високочастотного тракту, створити сприятливі умови для ефективного розподілу енергії в розкритті антени, збільшити полосу пропускання і точність наведення антенної системи і ін.

Екстремальна характеристика керованих антенних установок володіє наступними відмінностями. По-перше, екстремальна характеристика наземних антенних установок зазнає впливу шумів $e(t)$, рівень яких може змінюватись. По-друге, екстремальна характеристика в період проведення сеансу зв'язку здійснює координатний дрейф. Величина координатного дрейфу залежить від полоси пропускання силового слідкую чого приводу і швидкодії алгоритмів

екстремальної настройки.

З енергетичних міркувань здійснення настройки на максимум діаграми направленості антени має велике практичне значення при слідкуванні за об'єктом в умовах, коли рівень шумів відносно великий (співвідношення сигнал/шум мале) і координатний дрейф незначний. Остання обставина має місце, коли процес настройки на екстремум здійснюється на фоні програмного керування, а також при роботі з штучними супутниками Землі на стаціонарних орбітах.

Припускається, що в схемі екстремальної системи автоматичного керування (САК) антенною установкою є вимірювач рівня сигналу, який дає можливість проводити вимірювання рівня сигналу S або зміну сигналу ΔS при пошуковому русі антени.

Пошукові (пробні) рухи дозволяють визначити напрям робочого кроку в сторону екстремуму. Враховуючи той факт, що умови на стаціонарності або квазістаціонарності процесу настройки на екстремум можуть бути дотримані при достатньо високій швидкодії екстремальної САК, алгоритм настройки на екстремум доцільно будувати, виходячи з відомого математичного опису діаграми направленості антени. Перший етап стратегії пошуку екстремуму заключається в збиранні інформації про екстремальну характеристику при допомозі замірів сигналу, що приймається на кожному пробному кроці, кількість яких рівна кількості параметрів, які підлягають ідентифікації. Другий етап стратегії пошуку заключається у визначенні робочого кроку в область екстремуму.

В якості алгоритмів, які реалізують таку стратегію пошуку і потребують для визначення екстремуму мінімально можливу кількість рухів антенної установки, можна використати екстраполяційні алгоритми, які в залежності від повноти апріорної інформації про екстремальну характеристику можуть мати дві модифікації: алгоритми знаходження екстремуму по розмірах екстремальної характеристики в двох точках і ті ж алгоритми – в трьох точках.

Найбільш відома і найбільш широко використовується геостаціонарна орбіта, оскільки розміщений на цій орбіті штучний супутник Землі здійснює

оберт рівно за одну добу, внаслідок чого він є ніби-то нерухожим відносно деякої точки земної поверхні (за виключенням невеликих збурень і дрейфу середнього положення). Для цього висота орбіти повинна складати 35786 км над поверхнею Землі і площа геостаціонарної орбіти повинна співпадати з площиною екватора. Максимальна поверхня, яка опромінюється геостаціонарним супутником складає майже третю частину поверхні землі. Однак полярні обслуговуються з цієї орбіти погано, оскільки супутник видно під малими кутами до земної поверхні. Це викликає збільшення шумів, завади прийому. Збурюючі фактори приводять не тільки до зсуву геостаціонарного супутника по довготі, але й до зміни площини нахилу орбіти (приблизно $0,9^\circ$ в год). Зміна площини нахилу приводить до того, що супутник має добовий цикл руху (вісь мірку або еліпс в проекції на Землі), розмах якого (з півночі на південь) рівний нахилу площини орбіти. Усунення цих збурень потребує періодичного вмикання коректуючи виконавчих двигунів. Звичайна нестабільність положення даних супутників не перевищує $\pm 1,5^\circ$.

Про якість системи автоматичного керування (САК) оцінюють перш за все по тому, наскільки вона забезпечує виконання головної і кінцевої задачі, покладеної на комплекс пристроїв, які обслуговуються. Загальною оцінкою якості роботи будь-якої САК служить показник ефективності. Показником ефективності керованих антенних установок (АУ) служить абсолютне підсилення антени при роботі в певному діапазоні частот. Щоб уникнути втрат в потенціалі радіолінії АУ наводити потрібно таким чином, щоб робота проходила в безпосередній близькості максимуму діаграми направленості антени (ДНА). Зменшення рівня сигналів, що приймаються буде залежати від наступних факторів:

- величини зміщення робочої точки від максимуму ДНА, тобто від сумарної динамічної похибки наведення АУ;
- величини відхилення антени в результаті деформації дзеркальної системи.

Показник ефективності роботи керованих АУ залежить від сумарної точності, з якою здійснюється наведення АУ, тому критерієм якості роботи

САК наземними АУ служить сумарна похибка наведення, яка являється функцією часу, залежить від параметрів САК і характеристик керуючих і збудуючих сигналів, які діють на систему. При цьому максимум ефективності досягається при мінімумі сумарної похибки наведення.

САК наземними АУ, як і будь-яка САК, призначена для роботи з корисними сигналами, які звичайно являються детермінованими функціями часу. Задача дослідження точності наведення САК наземними АУ заключається у визначенні динамічних похибок перетворення системою корисних вхідних сигналів і ймовірносних характеристик випадкових сигналів, тобто математичних очікувань, дисперсії і кореляційних функцій вихідних координат.

Аналіз точності наведення САК наземними АУ з врахуванням особливостей їх побудови і математичного опису дозволяє визначити основні фактори. Які викликають похибки наведення, і умови, при яких ці помилки можуть бути мінімізовані. Дослідження точності наведення дає також можливість виявити основні співвідношення, які дозволяють передбачити ефективність роботи антенних систем в різних режимах роботи. В процесі аналізу основна увага приділяється тим помилкам, які безпосередньо пов'язані з роботою САК або можуть бути компенсовані при відповідній побудові і виборі параметрів САК.

Вся множина похибок, яка визначає сумарну похибку наведення електричної осі ДНА на об'єкт, можна перш за все поділити по характеру їх зміни в часі: на систематичні і випадкові. Систематичні похибки викликаються факторами, які діють повністю визначеним чином, і характеризуються постійною величиною Δ , незмінною на протязі великого проміжку часу, або змінною в часі по відомому закону. Випадкові похибки обумовлені дією на систему випадкових процесів.

Випадкова величина, як відомо, характеризується середнім значенням \bar{q} і середньоквадратичним значенням \bar{q}^2 . Середнє значення похибки на протязі циклу наведення (сеансу зв'язку) визначає систематичну похибку даного циклу, середнє значення по ряду циклів – систематичну похибку наведення конкретної АУ. Випадкова складова похибки характеризується величиною дисперсії s^2

або середньоквадратичним відхиленням для середнього значення s_q .

Систематичні похибки наведення в САК наземними АУ звичайно можуть бути виключені відповідним регулюванням або введенням поправок, наприклад, поправок на регулярну рефракцію в тропосфері, поправок на деформації АУ під дією власної ваги.

Систематичні (сильно корельовано всередині сеансу зв'язку, але випадкові для даного сеансу) похибки, якщо вони можуть бути виміряні або обчислені. Також можуть бути виключені шляхом введення відповідним поправок і юстировкою АУ. Юстировкою прийнято називати визначення істинного положення ДНА або пеленгового напрямку в просторі з одночасною прив'язкою здавачів виконавчих осей АУ геодезичними методами.

Особливу групу систематичних динамічних похибок наведення САК наземними АУ складають систематичні динамічні похибки, які являються результатом якості роботи САК, тобто визначаються похибкою перетворення корисного вхідного сигналу системою керування.

Всю множину похибок наведення наземних АУ можна розбити на дві групи: не пов'язані безпосередньо з роботою САК і похибки, які залежать від якості роботи САК.

До першої групи відносяться похибки, обумовлені деформаціями дзеркальної системи антени під дією власної ваги, вітрового навантаження і нерівномірного сонячного нагріву. Ці похибки звичайно мають систематичну і випадкову складові.

Випадкові похибки наведення АУ, які безпосередньо пов'язані з якістю роботи САК (наприклад, похибки від вітрових збурень, похибки, обумовлені внутрішніми шумами в системі) називають випадковими динамічними похибками.

Спосіб формування сигналу похибки САК наземними АУ в режимі авто супроводу безпосередньо по відхиленню електричної осі ДНА від істинного напрямку на космічний об'єкт дозволяє виключити практично всі систематичні і повільно змінювані похибки наведення, вводячи їх в середину замкнутого контуру. У режимі авто супроводу складові сумарної похибки наступні:

- систематичні динамічні похибки наведення, обумовлені динамічним запізненням із-за обмеженої ширини полоси пропускання силового слідкую чого приводу;
- випадкові динамічні похибки наведення, обумовлені флуктуаціями вітрового навантаження і сил тертя в механізмах наведення.

Також появляються складові. Які характерні тільки для режиму авто супроводу:

- похибки, обумовлені внутрішніми тепловими шумами в приймальних пристроях антени;
- похибки наведення, обумовлені особливостями використовуваного методу автосупроводу.

Для САК наземними АУ, які працюють в умовах зовнішніх збурень і завад, точність навантаження в динаміці звичайно оцінюється величиною око наведення.

Аналіз систематичних похибок наведення показує, що, по-перше, ці похибки відносно малі і, по-друге, завдяки тому, що систематичні похибки обумовлені причинами, які діють повністю визначеним чином. Ці похибки можуть бути усунуті або достатньо точно компенсовані:

- a) обчисленням цілевказань з врахуванням факторів, які викликають систематичні похибки наведення;
- b) вводом поправок в розрахункову траєкторію в реальному масштабі часу в процесі стеження на основі даних вимірювання систематичних похибок (з попереднім регулюванням, калібруванням і юстировкою елементів АУ і всієї установки в цілому).

2.2. Характеристика виробу та його призначення

Автоматизована система керування параболічною антеною призначена для управління виконавчими механізмами неповноповоротного опорно-поворотного пристрою, який використовується для роботи з штучними

супутниками Землі, які знаходяться на геостаціонарній орбіті. Нестабільність положення даних супутників звичайно не перевищує $\pm 1,5^\circ$. У даному опорно-поворотному пристрої використані такі механічні пристосування, як талрепи для грубого встановлення дзеркала вручну і електросиловий привід для точного наведення антени. Опорно-поворотний пристрій побудований по азимутально-кутомісній або горизонтальній кінематичній схемі.

Система керування являє собою систему силового слідкую чого приводу з керуванням по двох осях. Умовно систему керування можна поділити на наступні функціональні блоки: блок керування (пульт наведення), блок силовий азимуту і блок силовий кута місця.

Система керування призначена для наведення дзеркала антенної установки на штучний супутник землі в умовах дії:

- температури навколишнього середовища при експлуатації від $+5^\circ\text{C}$ до $+40^\circ\text{C}$;
- температури навколишнього середовища при транспортуванні від -50°C до $+50^\circ\text{C}$;
- вологості 85% при температурі навколишнього середовища $+25^\circ\text{C}$;
- атмосферного тиску від 84 до 106кПа.

Система керування встановлюється в закритих приміщеннях при відсутності безпосередньої дії сонячної радіації.

Система керування антенною системою може працювати в двох автоматичних режимах:

- ручний;
- екстремальний автомат.

У ручному режимі керування здійснюється з пульта керування при натиску кнопок, які відповідають відповідному напрямку руху антени: вправо, вліво, вверх чи вниз.

У режимі “екстремальний автомат” здійснюється автоматичне наведення антени по максимуму сигналу, що приймається через певні проміжки часу.

Таблиця 2.1 Основні технічні характеристики системи керування

Діаметр рефлектора (дзеркала), м	7
Сектор обертання рефлектора, не менше, град:	
- в азимутальній площині	23
- в кутомірній площині	30
Відхилення поверхонь рефлектора від теоретичного профілю, мм	± 1
Точність наведення на задані координати, кут.хв	± 1
Горизонтування опорно-поворотного пристрою при повороті на 90° не менше. хв	1
Діапазон робочих частот, ГГц	
- на прийом	3,65..3,95
- на передачу	3,95..6,32
Коефіцієнт підсилення антени в діапазоні робочих частот, дБ	
- на прийом	46,7
- на передачу	50,8
Маса, не більше, т	6,3
Габаритні розміри, мм	
- довжина	7740
- ширина	7740
- висота	7720

У системі керування передбачена можливість електронної юстировки здавачів азимуту і кута місця, яка дозволяє отримувати реальні значення положення рефлектора по двох координатах. Для цього необхідно відгоризонтувати опорно-поворотний пристрій, а потім при допомозі теодоліта навести його на віддалений предмет (реперний знак), координати якого (азимут і кут місця) точно відомі. Потім виставити ці координати на цифрових табло при допомозі перемикачів юстировки.

Індикація обертання рефлектора антенної системи в наступних кутових секторах:

- в азимутальній площині $-0.. 360^{\circ}$;
- в кутомірній площині $0..90^{\circ}$.

Дискретність індикації кутового положення дзеркала – 1кут.хв.

У системі керування передбачено автоматичне відключення приводів на межі секторів безперервного обертання опорно-поворотного пристрою і аварійне відключення приводів за межами секторів безперервного обертання.

Передбачена світлова індикація режимів роботи. Для цього на лицевій панелі розміщені світлові індикатори, виконані на базі світло діодів. Одна група індикаторів призначена для індикації руху антени у відповідному напрямку,

друга група – для індикації наїзду на кінцеві вимикачі по кожному з напрямків, третя група – для індикації аварійних ситуацій, тобто ситуацій, коли не працював робочий вимикач і антена наїхала на аварійний вимикач у відповідному напрямку.

2.3. Конструктивні особливості виробу

Прийом і передача антенною установкою енергії сигналів здійснюється за допомогою антенної системи. Яка складається з рефлектора і підвісу контр рефлектора. При прийомі енергія сигналу від зовнішнього джерела поступає на рефлектор, відбиваючись від нього падає на контр рефлектор, після відбивання від якого фокусується в фокусі антенної системи. При передачі енергія сигналу, яка випромінюється з фокуса, відбиваючись від контр рефлектора і рефлектора випромінюється у вигляді вузького променя в напрямку осі антенної системи.

Встановлення антенної системи в заданому напрямку в межах секторів здійснюється при допомозі системи керування опорно-поворотним пристроєм (ОПП), яка складається з виконавчих механізмів азимуту і кута місця, в якості яких застосовані домкрати з електроприводом і кінцевих вимикачів-контактів; здавачів положення; пульта наведення.

Опорно-поворотний пристрій (ОПП) призначений для обертання антенної системи по азимуту і куту місця.

ОПП складається із наступних основних частин: рама, поворотна платформа, електрогвинтові домкрати, пристрій відліку.

Основою ОПП є рама поз.1, на якій розміщена поворотна платформа по азимуту поз.2. Обертання рефлектора по куту місця здійснюється при допомозі кутомірного домкрату. Домкрат кута місця своєю віссю нижнього підшипника встановлюється в кронштейн, закріплений в середньому положенні на поворотній платформі, верхній підшипник встановлюється на осі трикутної опорної балки поз.8, яка опирається на два кронштейни поворотної платформи. Вершина балки поз.8 з'єднується з опорним кронштейном поз.21 рефлектора

через талреп поз.17. В цьому положенні переміщення рефлектора по куту місця здійснюється шляхом зміни довжин домкрату і талрепа.

Обертання поворотної платформи по азимуту здійснюється азимутальним домкратом, один з двох підшипників якого закріплений в опорному кронштейні поз.20, який встановлений на рамі ОПП, а другий – на кронштейні важеля приводу поз.32. Важіль приводу, встановлений в обоймі, яка закріплена на вертикальній стойці, стойка встановлена в опорному стакані ОПП на двох конічних роликоті підшипниках поз.57, 58, які захищені від забруднень войлочними ущільненнями поз.38 і 39. поворот платформи по азимуту в такому положенні здійснюється шляхом зміни довжини азимутального домкрату.

Для забезпечення обертання поворотної платформи по азимуту в межах 360° на обоймі по всьому колу є 24 конічних отвори під фіксатор, розміщених з кроком 15° . Перевід фіксатора важеля повороту з одного конічного отвору обойми в інший дозволяє перевести бісектрису сектора повороту платформи з одного просторового положення в інше і таким чином забезпечує обертання платформи в межах повного кола – 360° .

На кінці важіль азимутального приводу оснащений встановленим на підшипниках роликоті поз.30, який опирається на площину рами опорно-поворотного пристрою.

Електрогвинтовий домкрат призначений для здійснення обертання рефлектора по азимуту і куту місця; він складається з черв'ячного (поз.1) і циліндричного (поз.2) редукторів, вхідний і вихідний вали яких з'єднані між собою глухою муфтою поз.3. Привід домкрату має вихід для обертання його вручну. Домкрат приводиться в рух електродвигуном постійного струму, який під'єднаний до вихідного вала циліндричного редуктора пружною кулачковою муфтою поз.11. Циліндричний редуктор навісного типу двохступінчастий складається з відлитого роз'ємного корпусу, виконаного з алюмінієвого сплаву, і змонтованої в ньому двохступінчастої зубчатої циліндричної косозубої передачі. Колеса виконані із сталі 40.

Для ручного приводу домкрату в циліндричному редукторі передбачений

пристрій, який відключає його від черв'ячного редуктора. Він складається з ручки з прижимним фіксатором, при допомозі якої здійснюється вмикання і вимикання кулачкової муфти поз.11, посаженої на ковзаючій шпонці на другому валу редуктора. Відключення циліндричного редуктора від черв'ячного здійснюється переводом фіксатора в інше положення.

Черв'ячний редуктор виконаний у вигляді самостійного вузла і складається з черв'ячної передачі “гвинт – гайка кочення”, змонтованої в корпусі поз.1; контактів поз.6; телескопічного кожуха поз.4; корпусів поз.3, 7. Литий корпус поз.1 редуктора відкритого типу виконаний з алюмінієвого сплаву, має припливи для встановлення підшипників і для кріплення кришок. Черв'як – архімедовий, число заходів $z=1$, виконаний на валу із сталі і встановлений на двох конічних підшипниках. Черв'ячне колесо поз.5 складене, ступиця із сталі, вінце бронзове з числом зубів $z=46$ кріпиться до корпусу передачі “гвинт – гайка кочення” гвинтами.

Передача “гвинт – гайка кочення” є вихідною ланкою черв'ячного редуктора. Застосування її обумовлене тим, що вона:

- дає можливість повного усунення зазору і створення натягу, який забезпечує високу осьову жорсткість;
- має низькі втрати на тертя, $\text{ККД}=0,9$;
- має мале тертя спокою і незалежність сили тертя від швидкості, що сприяє забезпеченню рівномірного руху;
- має порівняно малі радіальні розміри.

Передача “гвинт – гайка кочення” складається з гвинта поз.2, двох гайок, корпусу, комплекту кульок і вкладишів. Гвинт виготовлений із сталі 12ХНЗА і загартований до твердості HRC60. Профіль різи напівкруглий, крок $p=15\text{мм}$.

Гайки виконані із сталі 12ХНЗА, мають зубчаті вінця, які входять у зчеплення з внутрішніми зубчатими вінцями корпусу. Зубчаті мілко модульні вінця на корпусі і гайках дозволяють через закручування однієї гайки відносно другої створювати необхідний натяг безлюфтової передачі як при складанні, так і при капітальних ремонтах.

В якості мастила використовується мастило ОКБ-122-7 ГОСТ 18179-72.

від атмосферних впливів і забруднень передача захищена телескопічним кожухом.

Здавачі кінцевого положення – кінцеві вимикачі, розміщені безпосередньо на домкраті. Особливістю є те, що в даній конструкції використані крім робочих кінцевих вимикачів, ще й аварійні, які спрацьовують через 5 ± 1 мм по ходу гвинта після робочих. При наїзді на кінцевий вимикач робочий проходить автоматичне відключення приводу на межі безперервного руху. При цьому обмежується рух тільки у вказаному напрямку, а у всіх інших напрямках рух антени може продовжуватись. Тобто, якщо антена рухалась вправо і спрацював кінцевий вимикач робочий правий (КВРП) рух вправо припиняється, а рух вліво, вгору, вниз може здійснюватися. Спрацювання аварійних кінцевих вимикачів проходить у тому випадку, якщо по якій-небудь причині не спрацював кінцевий вимикач робочий і пройшов наїзд на аварійний, який розміщений після робочого. При спрацюванні будь-якого з аварійних вимикачів проходить відключення обмоток збудження двигунів виконавчих приводів азимуту і кута місця. Вивести антену з кінцевого вимикача аварійного можна тільки при допомозі ручки ручного приводу, яка встановлена на циліндричному редукторі домкратів азимуту і кута місця.

Електропривід виконаний по системі тиристорний перетворювач-двигун, керований двоконтурною системою підпорядкованого регулювання із зворотніми зв'язками по швидкості і по струму. Регулятори, виконані на аналогових операційних підсилювачах. В якості системи керування тиристорним перетворювачем використовується система імпульсно фазового керування. Як давач швидкості застосовується тахогенератор постійного струму СЛ-221.

Але встановлення режиму роботи системи керування служить перемикач режиму. Для встановлення ручного режиму перемикач встановлюють в положення “ручн”. При цьому керування силовими приводами опорно-поворотного пристрою буде здійснюватись при натиску кнопок ВПРАВО, ВЛІВО, ВВЕРХ, ВНИЗ, які розміщені на передній панелі пульта наведення.

Напрямок руху антени контролюється по цифровому табло азимуту і кута

місця, які також розміщені на передній панелі пульта наведення: при натиску кнопки ВЛІВО покази цифрового табло азимуту повинні зменшуватись, при натиску кнопки ВПРАВО – збільшуватись, аналогічно для кута місця.

Для встановлення режиму “екстремальний автомат” перемикач режиму встановлюється в положення “Авт”. При цьому керування силовими приводами опорно-поворотного пристрою здійснюється по сигналах, які поступають від блоку екстремального автомату, який аналізує сигнал “Рівень” (аналог НВЧ), що поступає на вхід приймального пристрою і знаходить його максимум. Під час пошуку максимуму сигналу на передній панелі пульта наведення світиться індикатор “Пошук”, після знаходження максимуму сигналу засвічується індикатор “Екстр.”, а індикатор “Пошук” гасне.

Індикація кутового положення антенної установки здійснюється на індикаторах на лицевій панелі пульта наведення в цифровій формі.

У системі передбачена можливість встановлення часового інтервалу, по закінченні якого проходить включення програми пошуку максимуму сигналу, що приймається за допомогою групи перемикачів на касеті екстремального автомата.

Візуальний контроль рівня вхідного сигналу здійснюється при допомозі міліамперметра, розміщеного на лицевій панелі пульта наведення.

Для контролю положення антени використовуються здавачі положення, виконані на базі поворотних трансформаторів. Для підвищення точності застосовується два канали : грубого відліку і точного відліку.

Антиобмерзаюча система містить нагрівальні елементи основного дзеркала, які займають тільки третю нижню частину від повної поверхні дзеркала і нагрівальні елементи контр рефлектора. Апаратура розподілу потужності складається з блоків живлення антиобморожувача, розподільного пульта і з'єднувальних коробок. У блок керування системою входять температурні здавачі, детектори снігу і льоду, а також пульт керування антиобморожувача.

Включення і виключення системи виконується вручну, тому з наступанням зимового сезону для запобігання накопичення снігу і льоду на

антені необхідно вести спостереження за погодними умовами. Для зручності спостереження на стойці керування антиобморожувача в апаратній системі є індикація тривоги, яка сигналізує про появу снігу або льоду. З наступанням зимового періоду вмикається стійка керування антиобморожувача, в цьому випадку детектор снігу і льоду в бідь-який час фіксує умови замерзання.

Система забезпечує нормальну роботу антени при наступних граничних атмосферних умовах:

Температура повітря	-45..+40°C
Швидкість вітру (вільний потік), м/с	до 55
Вологість, %	до 100
Дощ, мм/год	до 100
Сонячна радіація, кВт/м ²	1,1

Нагрівальні елементи основного дзеркала полоскового типу прикріплюються до зворотної сторони поверхні панелей дзеркала. Для зведення до мінімуму втрат тепла з цієї ж сторони на панелі накладається теплоізоляційний шар жорсткого пінистого поліуретану. Обігрівальна площа ділиться на окремі зони, кожна з яких контролюють незалежно платиновими опорами, які служать в якості температурних здавачів. У кожній зоні попередження перегріву із-за пошкодження або збою в роботі температурних здавачів або блоку температурного контролю передбачені термостати.

Для захисту контр рефлектора від обморожування в ньому встановлюють електронагрівальний елемент, його включення і виключення проводиться від платинового температурного давача.

Детектор снігу і льоду скомпонований з здавачів вологи і температури. Давач вологи містить електронний генератор і нагрівач для відтаювання льоду і снігу. Коли в верхній порожнині давача волога відсутня, генератор працює. Якщо об'єм заповнюється водою, робота генератора припиняється із-за збільшення ємності між парою електродів. Діелектрична постійна об'єму між електродами міняється пропорційно кількості води, що з'явилася, чим і забезпечується висока чутливість навіть при появі в об'ємі водяних бризгів. Температурним здавачем служить платиновий резистор, розміщений в

металічній трубі.

Слід мати на увазі, що антиобморожувальне обладнання працює тільки в зимовий період. Тому достатньо часу для ремонту і перевірки працездатності обладнання. Перед початком сезону необхідно провести попередню перевірку у відповідності з інструкцією по експлуатації. Особливої уваги потребує перевірка ізоляції потужного живлення. При пониженні опору нижче допустимих значень повинна бути проведена підсушування підігрівом при роботі без навантаження.

Для запобігання антени від впливу сонячної радіації її випромінюючі поверхні покривають радіо прозорими дифузійними фарбами.

3 КОНСТРУКТОРСЬКА ЧАСТИНА

3.1 Розрахунок вітрових навантажень

Оскільки в більшості випадків антенна установка експлуатується на відкритому повітрі без укриття, вітрове навантаження являє собою другий по значенню після обертання фактор, дестабілізуючий напружено деформований стан конструкції. Особливості вітрового навантаження заключаються в специфіці взаємодії вітру і конструкції антенної установки, включаючи як статичну, так і динамічну компоненти. В цілому вітрове навантаження має випадковий характер. Однак у випадку стабільності аеродинамічних властивостей конкретної конструкції можна розглядати розподіл статичної компоненти вітрового тиску по елементах споруди як квазісистему, що залежить від аеродинамічних властивостей антенної установки (кута місця α_F і азимуту β_F) і напрямку вітрового потоку (кут азимуту β°). Випадковими залишаються в такій ситуації лише масштаб і момент появи вітрового навантаження.

Аеродинамічні властивості антенної установки характеризуються двома групами параметрів. Згідно [21] перша група містить шість коефіцієнтів сумарних сил C_i і моментів m_i , що характеризує вітрову дію на антенну установку інтегрально відповідно до осей вибраної системи і координат. Наявність цих коефіцієнтів достатня для розрахунку опорно-поворотного пристрою, зміна напружено-деформованого пристрою, зміна напружено деформованого стану якого приводить лише до поступового зміщення радіо променя. Але для конкретної оцінки вітрових спотворень форми дзеркальної системи необхідна диференціальна картина вітрової дії. Тому використовується група коефіцієнтів $\overline{q_{pn}^B}$, що характеризують розподіл вітрового тиску по конструкції.

Сумарні сили Q_i^B і моменти M_i^B визначаються на основі експериментальних даних про коефіцієнти c_i і m_i за формулами [11.с.22 23]:

$$Q_i^B = \frac{1}{64} \rho D p^2 (V^B)^2 C; \quad (3.1)$$

$$M_r^s = \frac{1}{64} \pi D p^2 (V^s)^2 m; \quad (3.2)$$

Тиск $\overline{q_{r^s}}$ в точці дзеркала рефлектора визначається за формулою

$$\overline{q_{r^s}} = \frac{1}{16} (V^s)^2 \overline{q_{r^s}} \quad (3.3)$$

де V^s – швидкість вітру, що відповідає розрахунковій ситуації.

Статичне вітрове навантаження створюється встановленим вітровим потоком V^s . Силу Q можна розкласти на три взаємно перпендикулярні складові: сила лобового опору, підйомна сила і бокова складова. Аналогічно можна розкласти результуючий момент M на три ортогональні складові, що намагаються розгорнути антенну установку відповідно до осей X , Y , Z з відповідними аеродинамічними коефіцієнтами (рис. 3.1).

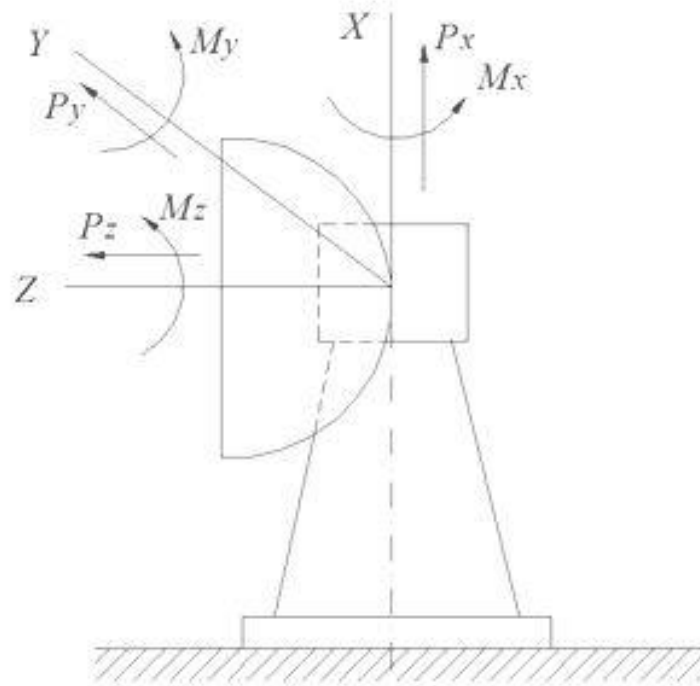


Рисунок 3.1. – Додатні напрямки осей (зусиль і моментів) при розрахунку опорно-поворотного пристрою на вітрове навантаження

$$Q = Q_x + Q_y + Q_z \quad (3.4)$$

$$M = M_x + M_y + M_z \quad (3.5)$$

З таблиць [11.с.24-25] вибираємо

$$C_z = -0,61; m_z = -0,025$$

$$C_y = -0,1; m_y = -0,24$$

$$C_x = -1,33; m_x = -0,06$$

$$Q_z^B = 1/64 \times 3.14 \times 7^2 \times 20^2 \times (-0.61) = 962.11 \times (-0.61) = -568.9H$$

$$Q_y^B = 1/64 \times 3.14 \times 7^2 \times 20^2 \times (-0.1) = -96.21H$$

$$Q_x^B = 1/64 \times 3.14 \times 7^2 \times 20^2 \times (-1.33) = -1279.61H$$

$$M_z^B = 1/64 \times 3.14 \times 7^3 \times 20^2 \times (-0.025) = -1542.82H$$

$$M_y^B = 1/64 \times 3.14 \times 7^3 \times 20^2 \times (-0.24) = -14811.038H$$

$$M_x^B = 1/64 \times 3.14 \times 7^3 \times 20^2 \times (-0.06) = -3702.76H$$

Згідно формул (4.4) і (4.5) отримуємо:

$$Q = 586.9 + (-96.21) + (-1279.61) = -1952.72H,$$

$$M = -1542.82 + (-14811.038) + (-3702.76) = 20056.61H \times m$$

3.2 Проектування і розрахунок елементів силового слідкуючого приводу

3.2.1 Структура електроприводу

У даний час електропривід антенних систем наземних станцій виконується, як правило, на основі тиристорних перетворювачів, які прийшли на зміну електронним підсилювачам, що застосовувалися раніше.

Типова структурна схема електроприводу на основі тиристорного перетворювача і виконавчого двигуна постійного струму показана на рисунку 4.2 [16], на якому :

ТГ – тахогенератор;

ВП – вхідний пристрій;

БКТП – блок керування тиристорним перетворювачем, який керує моментами відкриття тиристорних вентилів і тим самим визначає випрямлену напругу;

ТП – тиристорний перетворювач, складається з трьохфазного трансформатора і керованих тиристорних вентилів;

ВД – виконавчий двигун;

ЛС – ланцюг стабілізації електроприводу являє собою ланцюг від’ємного зворотнього зв’язку, як правило по першій і другій похідній струму електродвигуна. Для реалізації зворотного зв’язку в коло живлення електродвигуна звичайно вмикають опір, напруга з якого подається на диференціюючі схеми.

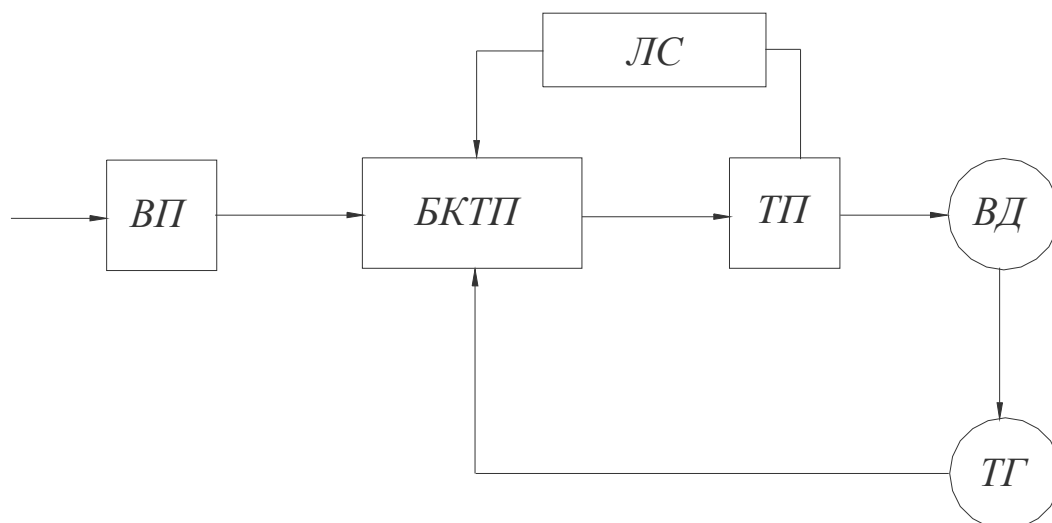


Рисунок 3.2. – Типова структурна схема електроприводу

3.2.2 Вибір та обґрунтування схеми з’єднання тиристорного перетворювача

Системи електроприводів з тиристорними перетворювачами володіють рядом техніко-економічних переваг у порівнянні з іншими системами. До них відноситься значно більша швидкість дії внаслідок практичної безінерційності тиристорів і систем керування ними. Інерційність тиристорів і систем керування ними. Інерційність тиристорного перетворювача (ТП) разом із системою імпульсно-фазового керування (СІФК) не перевищує кількох сотих секунди. Значно більший коефіцієнт корисної дії, що досягає 97-98% збільшується з ростом напруги, яка випрямляється і мало залежний від струму навантаження, в результаті меншими є річні витрати електроенергії. Менша потужність в колах керування, менші габарити і вага. Гнучкість СІФК і малі

енергозатрати, що дозволяють здійснювати автоматизацію шляхом використання сучасних електронних керуючих засобів. Найбільш досконалою з точки зору використання трансформатора і вентилів є трьохфазна мостова схема (схема Ларіонова).

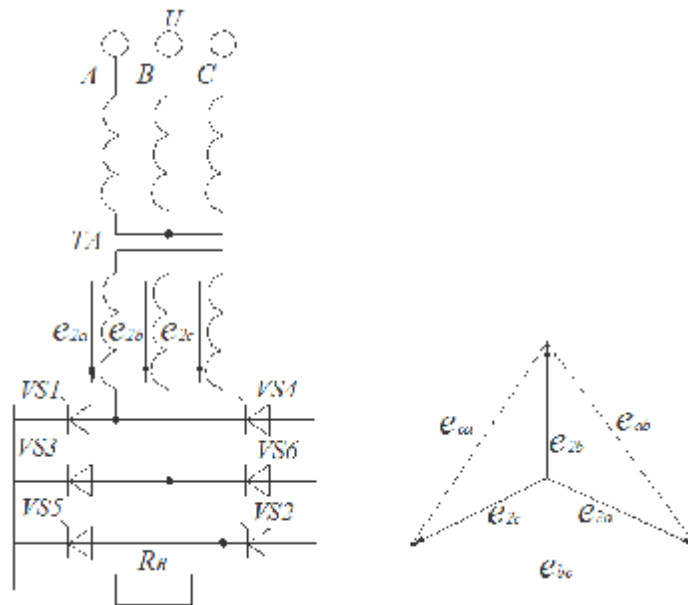


Рисунок 3.3 – Трьохфазна мостова схема

У порівнянні з трьохфазними нульовими схемами, вона володіє істотними перевагами: менша в два рази зворотня напруга на вентилях, менший нахил зовнішньої характеристики, дуже хороше використання і просте виконання трансформатора, менші пульсації випрямленої напруги, значно менші значення е.р.с. вторинної обмотки трансформатора, можливість використання в без трансформаторному варіанті. Недоліком мостової схеми зумовлені наявністю подвійного комплекту вентилів. Тому в тих випадках, коли падіння напруги на вентилі мале, недоліки мостової схеми зводяться до мінімуму. На рисунку 3.3 зображена трьохфазна схема Ларіонова і векторна діаграма напруг, які утворюються вторинними обмотками трансформатора і підлягають випрямленню

У спрощеному вигляді структурну схему вентиляного перетворювача можна зобразити як показано на рисунку 3.4. Він складається з трьох основних елементів:

ВВП – власне вентиляльний перетворювач;

Н – коло навантаження;

СІФК – система імпульсного фазового керування.

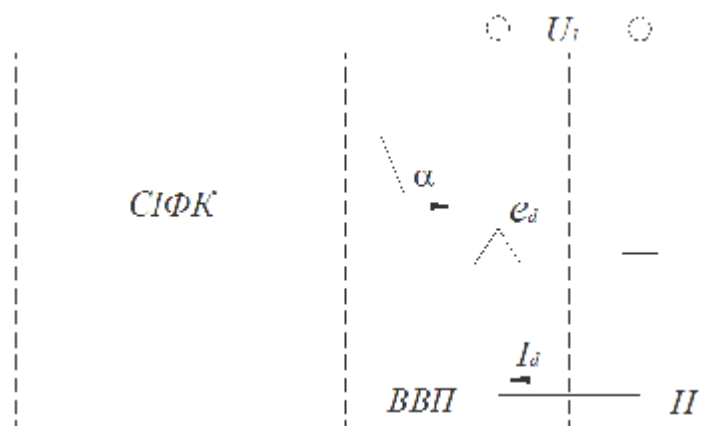


Рисунок 3.4. – Структурна схема вентиляльного перетворювача

3.2.3 Розрахунок параметрів та вибір типу вентилів, силових трансформаторів та інших елементів силового ланцюга

Розрахунок проводимо по методиці [17].

Мінімальне значення номінальної е.р.с. вторинної обмотки трансформатора визначається з виразу:

$$E_{2H} = K_3 \frac{(U_H + DU_a + (1.1K1.2)K_R \times R_{mP} \times I_H)}{K_U \frac{\varphi}{e} - \frac{DU\%}{100} \frac{\ddot{\varphi}}{\varphi} \cos \alpha_{\min} \frac{K_x}{K_{i1}} \times \frac{DU\%}{100}},$$

де $k_3=1,25$ – коефіцієнт запасу по куту відкриття вентиля;

$k_u=1,35$ – коефіцієнт схеми;

$k_x=0,95$ – коефіцієнт схеми;

$k_R=q=2$, q – кількість послідовно включених груп;

$k_{i1}=0,816$;

$k_{s1}=1,045$;

$U_H=110$ В – номінальне значення напруги двигуна;

$I_H=6,6$ А – номінальне значення струму двигуна;

ΔU_a – падіння напруги на тиристорах;

$\Delta U_a=4\text{В}$ – для мостової схеми Ларіонова;

$U_K\%=8$ – напруга короткого замикання;

$\Delta U\%=10$ – процент зниження напруги в мережі;

$$R_{mp} = \frac{1.1 \times K_{s1}}{m_1 \times K_{i1}^2} \times \frac{U_H}{I_H} \times \frac{DP_M \%}{100} = \frac{1.1 \times 1.045}{3 \times 0.816^2} \times \frac{110}{6.6} \times \frac{2}{100} = 0.19 \text{ Ом} \quad \text{– активний опір фази}$$

трансформатора,

$m_1 = 3$ – кількість фаз первинної обмотки.

$$E_{2H} = 1,25 \frac{(110 + 4 + (1.1 \times 1.2)^2 \times 0,19 \times 6,6)}{1,35 \times \frac{10}{100} - \frac{0,95}{0,816} \times \frac{10}{100}} = 106,36 \text{ В}.$$

Індуктивний опір однієї фази трансформатора приведений до вторинної обмотки:

$$X_{mp} = \frac{E_{2H}}{K_{i1} \times I_H} \times \frac{U_K \%}{100} = \frac{106.36}{0.816 \times 6.6} \times \frac{10}{100} = 1.97 \text{ Ом}.$$

Середнє значення випрямленої е.р.с. дорівнює:

$$E_{da} = q \times \sqrt{2} \times E_2 \times \frac{m}{p} \times \sin \frac{p}{m} \times \cos \alpha,$$

де q – кількість послідовно включених вентильних груп;

m – фазність схеми;

E_2 – діюче значення е.р.с. вторинної обмотки трансформатора;

$E_2 = 184,22 \text{ В}$;

α – кут відкривання вентилів, $\alpha = 57^\circ$.

Середнє I_a і діюче $I_{ад}$ значення струму через вентиль відповідно рівні:

$$I_a = \frac{I_d}{m} = \frac{6.6}{3} = 2.2 \text{ А}$$

$$I_{ад} = \frac{I_d}{\sqrt{m}} = \frac{6.6}{\sqrt{3}} = 3.81 \text{ А}$$

Діюче значення струму у вторинних обмотках трансформатора:

$$I_1 = \frac{1}{K_{mp}} \times \frac{\sqrt{2}}{\sqrt{m}} \times I_d$$

де K_{mp} – коефіцієнт трансформації.

$$K_{mp} = \frac{U_{1\phi}}{U_{2\phi}} = \frac{380}{106,36} = 3,51$$

$$I_1 = \frac{1}{3,51} \times \frac{1,4}{1,7} \times 6,6 = 1,52 A$$

Максимальне значення оберненої напруги, що прикладається до закритого вентиля:

$$U_{b\max} = \sqrt{2} \times \sqrt{3} \times E_{2\phi} = \frac{\sqrt{6}}{K_u} \times E_{d0} = K_{u\max} \times E_{d0}$$

$$U_{b\max} = \sqrt{2} \times \sqrt{3} \times 106,36 = 253,14 B$$

Розрахункова потужність вторинної і первинної обмоток трансформатора відповідно рівні:

$$S_2 = K_{s2} \times E_{2\phi} \times I_d = 1,045 \times 106,36 \times 6,6 = 733,5 Bm$$

$$S_1 = K_{s1} \times E_{2\phi} \times I_d = 1,045 \times 106,36 \times 6,6 = 733,5 Bm$$

Габаритна потужність трансформатора:

$$S = \frac{S_1 + S_2}{2} = \frac{733,5 + 733,5}{2} = 733,5 Bm$$

Середнє значення випрямленої е.р.с. при куті відкриття $\alpha=0$:

$$E_{d0} = K_u \times E_{2H} = 1,35 \times 106,36 = 143,59 B$$

Для випрямленого режиму тиристорів при безперервному струмі отримуємо:

$$U_{da} = E_{d0} \times \cos\alpha - DU_a - R_x \times X_{mp} \times I_d,$$

де DU_a – падіння напруги на вентилі, В;

$$U_{da} = 143,59 \times 0,5446 - 4 - 0,95 \times 1,97 \times 6,6 = 61,85 B.$$

Рівняння зовнішньої характеристики випрямляча у відносних одиницях:

$$U_{da}^* = \cos\alpha - \frac{DU_a \%}{100} - \frac{DU_x \%}{100} - \frac{DU_K \%}{100} = 0,5446 - 0,1 - 0,08 - 0,068 = 0,297 B$$

Тиристори вибираються по середньому значенню анодного струму, оберненій напрузі.

Середнє значення струму через вентиль:

$$I_a = \frac{I_H}{m} = \frac{6,6}{3} = 2,2 \text{ A}$$

Величина максимального значення оберненої напруги на тиристорі:

$$U_{b\max} = K_{зн} \cdot K_{\max} \cdot E_{d0},$$

де $K_{зн} = 1,25$ – коефіцієнт запасу по напрузі.

$$U_{b\max} = 1,25 \cdot 1,045 \cdot 143,59 = 187,56 \text{ В}$$

Для мостової схеми Ларіонова:

$$U_{кл} \approx \frac{U_{дон}}{n_{noc} \times K_{cти}},$$

де n_{noc} – кількість послідовно сполучених вентилів;

$K_{cти}$ – коефіцієнт пониження допустимої напруги;

$$K_{cти} = 0,8 + 0,2 / n_{noc} = 0,8 + 0,2 / 2 = 0,9.$$

$$U_{кл} \approx \frac{187,56}{2 \times 0,9} = 104,2 \text{ В}.$$

Вибираємо тиристор 2У203Г [17]:

Струм у закритому стані, мА	10
Постійний відпираючий струм, мА	450
Постійна відпираюча напруга, В	5
Напруга у відкритому стані, В	2
Пряма напруга в закритому стані, В	200
Пряма зворотня напруга, В	200
Прямий струм у відкритому стані, А	10
Імпульсний струм у відкритому стані, А	100

Струм короткого замикання в первинній обмотці трансформатора:

$$I_{1кз} = \frac{U_{1H}}{X_{\phi mp}}$$

$$X_{\phi mp} = \frac{U_{1H}}{I_{1кз}} \times \frac{U_k \%}{100} = \frac{380}{1,8} \times \frac{8}{100} = 16,9 \text{ Ом}$$

$$I_{1кз} = \frac{380}{16,9} = 22,4 \text{ А}$$

Номінальне граничне значення струму короткого замикання тиристора:

$$I_{ан} > \frac{I_{dкз}}{K_{пер}} = \frac{K_{mp}}{K_{пер} \times K_{i1}} \times I_{1кз} = \frac{2,37}{10 \times 0,816} \times 22,4 = 9,8 \text{ А},$$

де $K_{пер} = 10$ – коефіцієнт перевантаження.

$10 > 9,8$, отже умова стійкості при короткому замиканні виконується.

Величина випрямленої напруги перетворювача:

$$U_{dmp} = K_U \times E_{dH} \frac{\alpha}{\delta} - \frac{DU\% \ddot{\alpha}}{100 \delta} \cos a_{\min} - DU_a - I_{dH} (K_x \times X_{mp} + K_R \times R_{mp} + R_{don})$$

Звідси маємо:

$$a_{\min} = \arccos \frac{U_{dmp} + DU_a + I_{dH} (K_x \times X_{mp} + K_R \times R_{mp} + R_{don})}{K_U \times E_{dH} \frac{\alpha}{\delta} - \frac{DU\% \ddot{\alpha}}{100 \delta}} =$$

$$= \arccos \frac{110 + 3 + 6.6(0.95 \times 1.97 + 2 \times 0.19 + 0.01)}{2.34 \times 06.36(1 - 0.08)} = 56$$

У випадку правильного вибору елементів схеми повинна виконуватись умова:

$$a_{\min} \geq a_{\min 0}$$

$$a_{\min 0} = 0^\circ, \text{ отже умова виконується.}$$

$$56 > 0$$

3.2.4 Вибір і розрахунок засобів захисту вентилів та інших елементів силового ланцюга

Струмівий захист полягає в тому, щоб зменшити час дії аварійних струмів і обмежити їх величину або швидкість наростання. Основними захисними показниками запобіжників є номінальна напруга $U_{пр.н.}$ і номінальний струм $I_{пр.н.}$.

Розрахунок проводимо по [17].

Теплові інтеграли плавлення:

$$W_{откл} = \int_0^{t_{откл}} \dot{I}^2 \times dt, A \times c^2$$

$$W_{пл} = \int_0^{t_{пл}} \dot{I}^2 \times dt, A \times c^2$$

Якщо запобіжники включені послідовно з вентилями, то повинна виконуватися умова:

$$W_{откл. макс} \approx \frac{n_{нар}^2}{K^2} \times W_{тур. доп},$$

$$\partial e W_{тур. доп} = \int_0^t \dot{J}_{K3}^2 dt$$

$$I_{K3} = \frac{E_{2\phi}}{\sqrt{R_{mp}^2 + X_{mp}^2}} = \frac{106.36}{\sqrt{0.19^2 + 1.97^2}} = 53.74 A$$

$$W_{тур. доп} = 53.74^2 \times 0.01 = 28.9 A^2 \times c$$

$$W_{откл. макс} = \frac{2^2}{1.11} \times 53.74 = 193.1 A^2 \times c$$

Вибираємо запобіжник ВКДУВ-300 [17].

Захист від внутрішніх комутаційних перевантажень здійснюється ланками:

R40-C10-R31-C15, включених паралельно до тиристорів.

$$C = \frac{10 \times I_a}{U_{bd0n}} = \frac{10 \times 6,6}{200} = 0,33 мкФ$$

$$R = \frac{10 \times U_{bd0n}}{I_{abm}} = \frac{10 \times 200}{10} = 200 Ом$$

Захист перетворювача від зовнішніх перенапружень здійснюється ланкою:

R43-C7

$$C = 31.9 \times \frac{I_{o2}}{(K_H^2 - 1) \times U_2} = 31.9 \times \frac{0.61}{(1.3^2 - 1) \times 184.2} = 0.15 мкФ$$

$$R = \frac{R_{нач}}{K_{заг}} \times (K_H - 1) = \frac{16,7}{1} \times (1,3 - 1) = 5 Ом$$

де $K_H = 1,1 \dots 1,5$ – коефіцієнт запасу по напрузі;

I_{o2} – діюче значення струму, приведенного до вторинної обмотки;

$R_{нач} = \frac{U_H}{I_H}$ – еквівалентний опір навантаження;

$K_{заг} = \frac{I_d}{I_{dH}}$ – коефіцієнт завантаження перетворювача.

Захист вентиля від перенапруг при розриві ланцюга постійного струму здійснюється ланкою R52-C16

$$C = \frac{2 \times L_K \times K_{заг}^2 \times 10^6}{(K_H^2 - 1) R_{наг}^2} = \frac{2 \times 0,38 \times 1^2 \times 10^6}{0,69 \times 16,7} = 0,39 мкФ$$

$$R = 5 Ом$$

3.2.5 Вибір схеми керування тиристорним перетворювачем

Система керування тиристорним перетворювачем повинна виконувати наступні функції [16]:

- а) Створювати синхронізовану з напругою живлення m -фазну систему імпульсів керування;
- б) Дозволяти зсувати по фазі імпульси керування відносно анодної напруги тиристорів.

По використовуваних методах керування тиристорними перетворювачами можна виділити групу систем керування з імпульсно-фазовим керуванням (СІФК). У цих системах здійснюється зсув керуючих імпульсів по фазі відносно напруги живлення тиристорів.

На рисунку 3.5 приведена схема блоку керування з пилкоподібною опорною напругою $U_{оп}$, яка формується при допомозі трьох однофазних трансформаторів, їх первинні обмотки можуть бути з'єднані або в зірку або в трикутник і вмикаються в мережу живлення таким чином, щоб $U_{оп}$ перетинала вісь часу із зсувом в 90° по відношенню до точки звичайного вмикання вентилів. Напруги вторинних обмоток для кожного каналу відповідно кількості фаз випрямлення перетворювача алгебраїчно додаються, створюючи опорну напругу $U_{оп}$ [17].

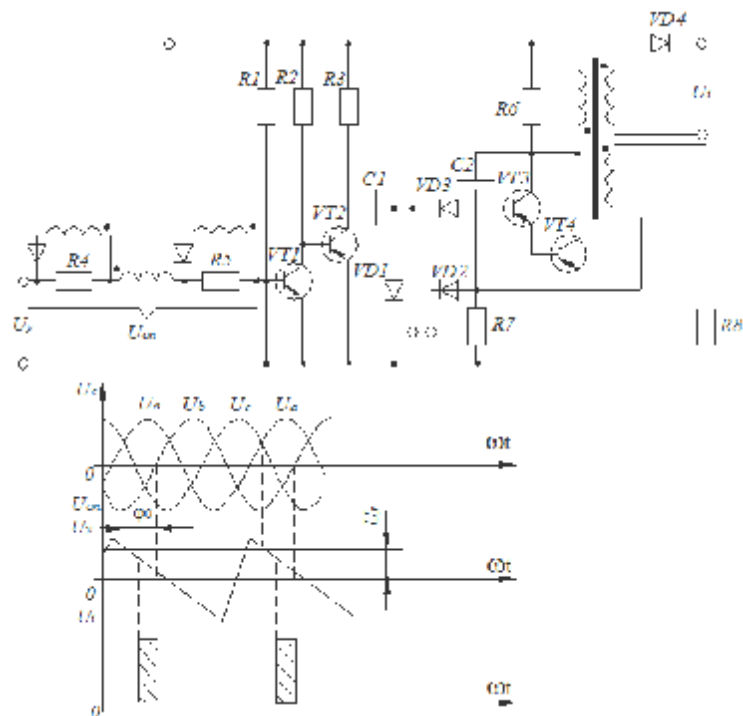


Рисунок 3.5. – Принципіальна схема і діаграми напруг для напівпровідникової СІФК для одного каналу керування.

Схема дозволяє формувати керуючі імпульси для тиристорів, які працюють одночасно, як, наприклад, для мостової схеми, де працюють тиристири анодної і катодної груп. При цьому кожний вентиль однієї групи працює по чергово з двома вентилями другої групи. Схема дозволяє отримувати відповідні імпульси із зсувом в 60° , які знімаються з точок а і б. Таким чином, забезпечується одночасна подача імпульсів в необхідній послідовності (рис. 3.6) та керуючі електроди тиристорів і синхронізована робота генераторів імпульсів (ГІ).

3.2.6 Вибір типів регуляторів, здавачів регульованих координат

У даний час промисловість випускає дві основних системи регуляторів, які знайшли широке використання для керування електроприводами: системи УБСР і УБСР-АИ. Регулятори системи УБСР практично мають тільки два суттєвих недоліки: низька частота пропускання і значні габарити. Цих недоліків немає в системах УБСР-АИ, базовим елементом якої є операційний підсилювач прямого підсилення, виконаний на інтегральних мікросхемах.

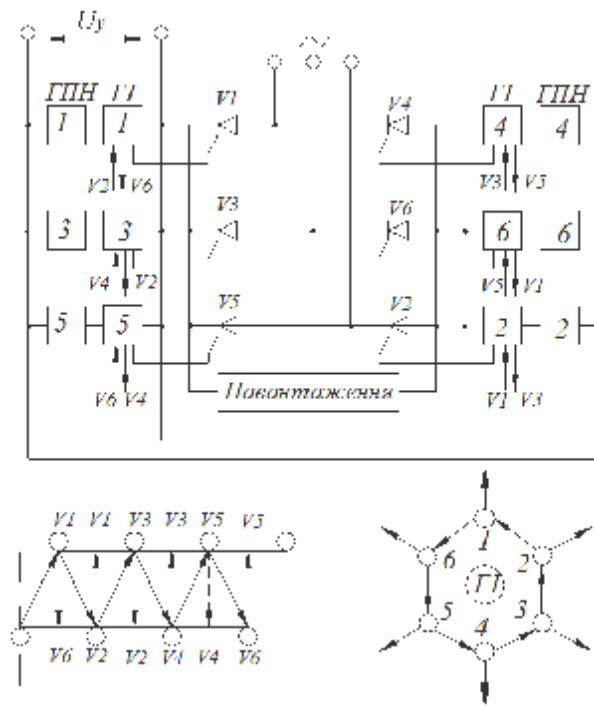


Рисунок 3.6. – Мостова схема перетворювача, діаграми черговості вмикання тиристорів і синхронізація роботи генераторів імпульсів.

Технічні дані У2-АІ:

Вихідна напруга, В	± 10
Опір навантаження, кОм	2
Вихідний опір, кОм	150
Коефіцієнт передачі	$(5 \dots 240) \cdot 10^3$
Полоса пропускання, кГц	5
Похибка, %	1
Напруга живлення, В	12,6

Контроль струму двигуна проводиться безпосередньо в колі якоря. Для цього сигнал знімається з шунта, включеного в коло якоря. Використання шунтів дозволяє досить точно проводити вимірювання струму. Тому в таких випадках використовуються здавачі

Характеристика давача струму ПН-ІА1:

Вихідна напруга, В	±10
Вхідна напруга, В	±5
Вхідний опір, кОм	10
Опір навантаження, кОм	2
Коефіцієнт передачі	133
Полоса пропускання, кГц	0,5
Похибка, %	±1

В якості елемента контролю швидкості двигуна використовується тахогенератор СЛ-221 постійного струму. Величина напруги, що знімається на його клеммах, пропорційна швидкості обертання вала двигуна.

Технічні дані тахогенератора СЛ-221 [17]:

Максимальна частота обертання, об/хв	3700
Напруга живлення, В	110
Струм якоря, А	0,2
$U_{\text{вих}}/n$, В·с/об	0,013
$P_{\text{вих}}/n$, Вт·с/об	0,013

За допомогою задавачів інтенсивності забезпечується необхідний темп зростання та спадання швидкості в пускогальмівних режимах і режимах переходу від однієї швидкості до іншої. У системах, побудованих на базі елементів УБСР-АІ, для перетворення задаючого сигналу U_3 ступінчатої форми в лінійно залежний від часу сигнал керування, використовується задавач інтенсивності ЗІ-1АІ. У схемі використана схема інтегроздаючого пристрою, виконаного на базі елементів УБСР-АІ.

4 НАУКОВО-ДОСЛІДНА ЧАСТИНА

4.1 Принцип і схема вибору люфта в механізмах наведення ССП

Велика антенна система для космічного зв'язку або радіоастрономічних досліджень являє собою складну споруду. Її ефективність визначається, в першу чергу, фокусуючим пристроєм, тобто системою фокусуючи і відбиваючих металічних поверхнею, які вловлюють електромагнітну енергію і збирають її в точці розміщення приймача сигналів. Широкого поширення набули антени, в яких використовуються параболічні дзеркала або частини параболічних поверхнею в сукупності з іншими пристроями. Наприклад, для зв'язку через штучний супутник Землі застосовуються так звані рупорно-параболічні антени, які представляють собою поєднання конічного рупорта з параболічним дзеркалом. Знайшли застосування в якості фокусуючи пристроїв і сферичні дзеркальні поверхні [6].

У сучасних системах автоматичного керування передбачені режими програмного наведення, пошуку, авто супроводу, комбінованого наведення і ручного дистанційного наведення (наприклад, для проведення юстировочних і регламентних робіт).

Крім повно поворотних антенних установок, перевагою яких є обор всієї верхньої на півсфери, також застосовуються антени з обмеженим робочим сектором і меридіанні інструменти. Такі антени простіші по конструкції опорно-поворотних пристроїв і дешевші, дозволяють отримати досить високі ефективні площі і кутову здатність.

Наземні антенні установки для далекого космічного зв'язку повинні мати максимально досяжні радіотехнічні параметри: максимальну допустиму ефективну поверхню і мінімальну шумову температуру. Ці параметри визначаються в основному схемою і конструкцією фокусуючи і опромінюючих пристроїв, робочим діапазоном хвиль та іншими факторами. Однак можливість повного використання радіотехнічних характеристик антени в даному конкретному сеансі зв'язку з космічним об'єктом в значній мірі визначається якістю роботи системи автоматичного керування (САК).

Якщо нормована діаграма направленості антени (ДНА) по полю в межах головної пелюстки описується функцією

$$F(q) \gg \exp[-(1.2q/s_{0.5})^2]$$

то при незначному наведенні ефективна площа буде зменшуватися у співвідношенні:

$$S(q)/S_{\max} \gg \exp[-(1.7q/s_{0.5})^2],$$

де q – кут відхилення максимуму ДНА від напрямку на джерело сигналу;
 s – ширина ДНА по точках половинної потужності.

Таким чином, вимоги до точності наведення антени визначаються шириною ДНА і допустимим пониженням ефективної площі. У таблиці 4.1 приведені орієнтовні значення ширини діаграми направленості антен радіоліній різного призначення, потрібних кутових швидкостей і точності наведення в залежності від дальності до космічного об'єкта. Ці значення в першому наближенні характеризують вимоги до САК наземними антенними установками для космічного зв'язку.

Таблиця 4.1. Параметри антен радіоліній далекого космічного зв'язку

Призначення системи	Дальність зв'язку $R_{\text{км}}$	Ефективна площа антени $S, \text{м}^2$	Кутова швидкість наведення, рад/с	Ширина діаграми, град		Допустима похибка наведення, град	
				$\lambda = 30\text{см}$	$\lambda = 6\text{см}$	$\lambda = 30\text{см}$	$\lambda = 6\text{см}$
Зв'язок з ШСЗ: - на низьких орбітах	$<3 \cdot 10^3$	~ 10	<0.2	>5	<3	<1	<0.5
- на високих і стаціонарних	$<10^5$	$\sim 2 \cdot 10^2$	$\sim 10^{-3}$	~ 1	~ 0.5	~ 0.1	<0.05
Зв'язок космічними апаратами: - місцевими	$<10^6$	10^2-10^3	$\sim 10^{-4}$	1.5-0.5	<0.10	<0.1	<0.05
- міжпланетними	$>10^7$	10^3-10^4	$\sim 10^{-4}$	0.5-0.15	<0.05	$<0.1-0.05$	<0.01

У великих антенних установках, які працюють в сантиметровому діапазоні хвиль, необхідна точність наведення складає долі кутової хвилини. Для сучасної техніки керування точності порядку кутової хвилини і навіть

порядку кутових секунд не є недосяжними. При керуванні великими антенними установками точно виміряти орієнтацію в просторі електричної осі ДНА дуже важко. Це обумовлене як деформаціями дзеркальної системи і опорно-поворотного пристрою (ОПП), так і дією на антенну установку різних збурюючих факторів (наприклад, вітру).

Не дивлячись на різноманітність типів антенних установок, які застосовують для зв'язку з штучними супутниками Землі (ШСЗ), далекого космічного зв'язку, можна встановити декілька загальних факторів, які впливають на побудову САК і вибір її параметрів [6]. По-перше, вимоги до точності САК зростають із скороченням довжини робочих хвиль антени та із збільшенням її геометричних розмірів.

По-друге, в багатоелементних антенах з електричним фазуванням ускладнюються функції систем керування із-за великої кількості елементів управління і необхідності їх синхронного переміщення.

По-третє, проектування САК наземними антенними установками суттєво залежить від динамічних властивостей антенної установки як об'єкта керування і метеорологічних і кліматичних умов на місці розміщення.

По-четверте, проектування САК наземними антенними установками багато в чому визначається призначенням конкретної антенної установки, тобто класом орбіт і траєкторії руху космічних об'єктів, заданим діапазоном обзору небесної півсфери, вимогами забезпечити роботу в різних режимах, а також ступенем автономності, оперативності, надійності і автоматизації проведення робіт.

Складність реалізації високих вимог по точності наведення САК наземними антенними установками в великій мірі визначається призначенням і властивостями об'єкта керування. У прямій залежності від цього знаходяться і встановлювані при цьому показники якості керування, які є основою для синтезу САК. Об'єктом керування в САК наземними антенними установками є дзеркальна система, металокопункції ОПП і механізми наведення антенної установки сумісно з виконавчими двигунами [20].

Вимоги великих ефективних площ антен, призначених для далекого

космічного зв'язку, приводять до того, що конструкція ОПП таких антен має великі геометричні розміри, конструктивні елементи яких володіють значною податливістю, а рухомі частини – великими моментами інерції, причому вся механічна система знаходиться під дією низькочастотних вітрових збурень та інших метеорологічних і кліматичних факторів.

Складність металоконструкції ОПП і механізмів наведення наземних антенних установок суттєво залежить від геометричних розмірів дзеркала антени. Прямуювання до збільшення ефективної площі антенних установок приводить до необхідності збільшення діаметра антен. При цьому існує певна межа, при якій подальше збільшення діаметра антенної установки технічно стає неможливим і економічно недоцільним.

Грубі кількісні оцінки граничних можливих розмірів антенних установок можна отримати, виходячи з достатньо загальних міркувань. Великі антенні установки – це перш за все унікальні по своїх розмірах і точності металічні конструкції. Ці конструкції піддаються гравітаційним тепловим деформаціям, які обумовлені впливом вітрових навантажень. Три фундаментальних фактори – міцність, жорсткість і теплове розширення – роблять неможливим спорудження антенних установок більших деякої межі, яка існує для кожної робочої довжини хвилі.

Одним з найбільш перспективних методів, який можливо допоможе відсунути “гравітаційну” межу в найближчому майбутньому, полягає в проектуванні антенних установок з дотриманням принципів гомо логічності деформацій дзеркальної системи.

Однією з основних задач проектування силового слідкую чого приводу (ССП) наземних антенних установок є реалізація безлюфтового наведення. Люфт в механізмах наведення утруднює виконання умов стійкості замкненої слідкуючої системи при забезпеченні вимог до швидкодії і точності ССП. Вибір люфта особливо необхідний при малих моментах навантаження.

Реалізація безлюфтового наведення досягається застосуванням приводів з електричним або механічним вибором люфта в кінематичній схемі зубчатих передач механізму наведення антенної установки шляхом створення

примусового натягу або моменту вибору люфта. У механічних пристроях вибору люфта момент примусового натягу створюється пружиною, яка попередньо закручується до моменту, що дозволяє вибрати люфт, а потім відпускається на вихідну пару силового редуктора механізму наведення. При електричному способі вибору люфта роль пружини виконують двигуни, які створюють момент, достатній для виключення люфта в зубчатих зчепленнях. При цьому способі використовуються два приводи, які діють на ведене колесо вихідної пари редуктора (рис. 4.1).

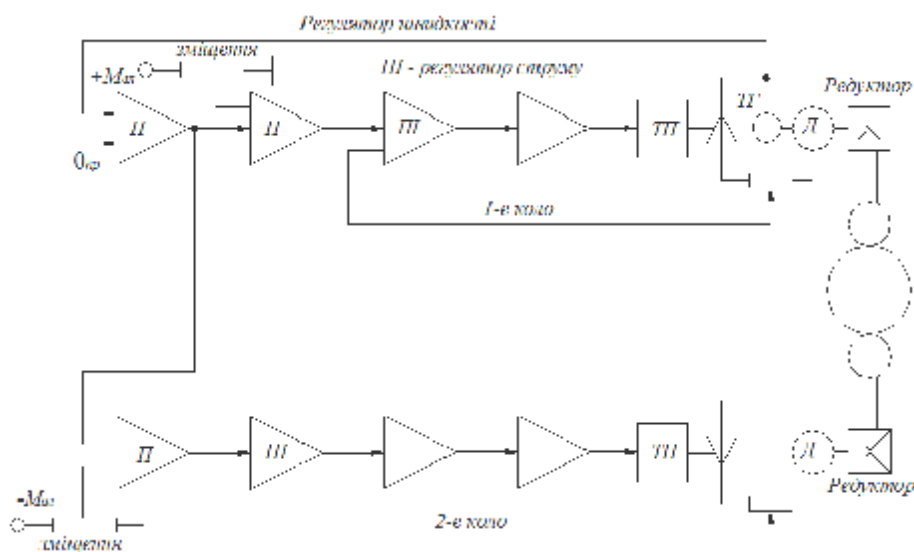


Рисунок 4.1. – Принцип і схема вибору люфта в механізмах наведення ССП

У процесі наведення антенної установки момент виконавчого двигуна M_D може бути направлений як в одному напрямку, так і зустрічно з моментом примусового натягу $M_{Бл}$, в залежності від моменту навантаження M_H . На рисунку 4.2 (криві 1) графічно зображений випадок, коли момент натягу компенсується зростаючим моментом навантаження. Таким чином, щоб при певному моменті навантаження момент вибору люфту зникав і обертові моменти двох двигунів мали при цьому однакові знаки.

Перевагою цього способу є те, що максимальний момент окремого двигуна може бути менший максимального моменту навантаження. Недоліком є те, що при виборі люфту при знакозмінних моментах навантаження проходить зміна робочих поверхонь бокових сторін зубів в зубчатому зачепленні. Виникнення поштовху в такій системі збуджує власні коливання механічної

конструкції антенної установки.

Вказаного недоліку можна уникнути при виборі способом, який графічно показаний на рисунку 4.2 (криві 2). В цьому випадку жодний з моментів окремих приводів M_1 і M_2 не змінює свого знаку, однак ці моменти навантаження на величину моменту примусового натягу $M_{Бл}$.

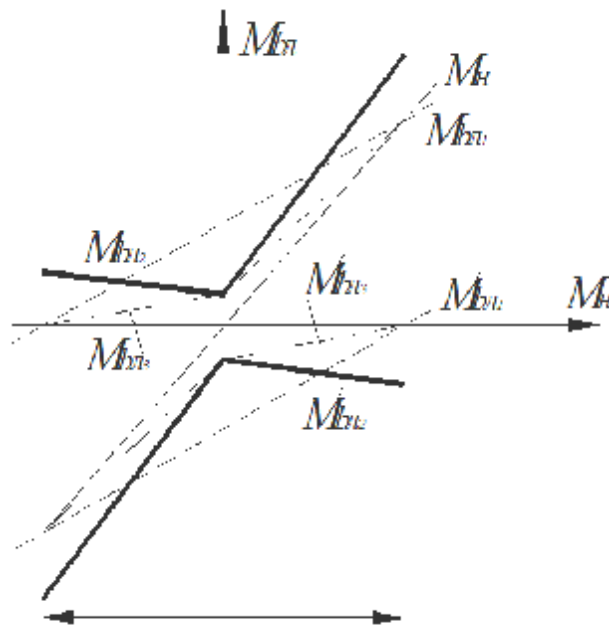


Рисунок 4.2. – Характеристики пристрою вибору люфта

Останній постійний на всьому діапазоні зміни навантаження. Криві 3 на рисунку 4.2 ілюструють другий спосіб вибору люфту, при якому момент натягу при максимальному моменті навантаження зникає, а при моменті навантаження $M_2=0$ має максимальну величину. Момент окремого приводу в цьому випадку повинен бути рівний максимальному моменту навантаження (втрати в редукторі не враховуються). Для заштрихованої частини характеристики вибору люфту максимальний момент натягу рівний половині величини моменту навантаження. Якщо в цьому немає необхідності або якщо реактивна потужність, необхідна для створення натягу занадто велика, то люфт можна вибирати так, щоб регулювання обертового моменту або струму можна було б легко реалізувати при допомозі простого діодного функціонального перемикача, який встановлюється на вході регульованої величини. У цьому випадку схема

перетворення значно простіша, ніж при виборі люфту у відповідності з кривими 1, так як у відповідності з характеристиками 2 і 3 на рисунку 4.2 не потрібно змінювати напрям струму і немає необхідності в зустрічно-паралельному включенні кожного приводу.

Принципова схема реалізації керування з вибором люфту в зубчатому зачепленні показана на рисунку 4.1. З виходу регулятора швидкості знімається напруга, пропорційна струму двигуна, яка визначається величиною потрібного обертового моменту і подається на обидва виконавчих двигуни. Пропорційний підсилювач отримує певну напругу зміщення, додатну для однієї вітки приводу і від'ємну для другої. При допомозі діодів, не показаних на рисунку, можна отримати паралельні, ламані характеристики або характеристики, які перетинаються вибору люфту, зображені на рисунку 4.2. З виходу пропорційного підсилювача знімають керуючий сигнал для наступного пі-регулятора, власне регулятора струму відповідної вітки приводу.

У приводі з вибором люфта доцільно вимірювати і регулювати кількість обертів кожного виконавчого двигуна окремо, так як в цьому випадку появляється можливість демпфувати коливання в кожній окремій вітці приводу.

4.2 Вплив деформації дзеркальної системи антени на її радіотехнічні характеристики і способи компенсації цих деформацій

Серед багатьох факторів найбільший вплив на показник ефективності великих керованих антенних установок дають деформації дзеркальної системи антени під дією власної ваги, вітрового навантаження і нерівномірного сонячного нагріву. Визначимо вплив деформації відбиваючої поверхні антени на її радіотехнічні характеристики і точність наведення антенної установки. Усі дзеркальні антени працюють у відповідності із законами геометричної оптики. Промені, що виходять із фокусу дзеркала повинні відбиватися від його поверхні у формі паралельного і синфазного пучка. Умовою застереження син фазності

випромінювання є наявність точної (ідеальної) відбиваючої поверхні. Однак ідеальну поверхню дзеркала на практиці одержати неможливо. Поверхня дзеркала великих антенних установок підтримується і кріпиться до несучої або опорної конструкції. Ця конструкція піддається деформаціям, обумовленим гравітаційною, вітровою і тепловою дією. Крім того несуча конструкція має похибки виготовлення, а при формуванні відбиваючої поверхні дзеркала з панелей і їх регулюванні виникають похибки юстировки. Внаслідок цих відхилень поверхні дзеркала від ідеальної, які носять систематичний і випадковий характер, довжина ходу окремих променів m , а отже і фази відрізняються одна від одної і при цілому частина енергії випромінюється і розсіюється по інших напрямках. Погіршення якості (або зменшення підсилення G) антени можна представити у вигляді [G]

$$G/G_0 = \exp[-4\pi s^2/l]^2,$$

де G_0 підсилення ідеальної антени;

l – довжина хвилі;

s – середньоквадратичне відхилення профілю відбиваючої поверхні від розрахункового, яке визначається на етапі юстировки.

При визначенні величини s основна задача полягає в тому, щоб провести через вимірне число точок n деформованого і з похибками відрегульованого профілю дзеркала антени поверхню, яка б максимально наближалась до нього, або так звану апроксимуючу поверхню з вільними параметрами q . Цими параметрами можуть бути лінійні (поперечні) зміщення вершини дзеркала d_x , зміна фокусної відстані Δf і кут повороту фокальної осі Φ_x (рисунок 6.3), які звичайно називають гомологічними параметрами.

Тоді середньоквадратичне відхилення σ визначається за формулою [6]:

$$s = \pm \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n p_i d_i^2 / (n - q)},$$

де d_i – нормальне відхилення i -ої точки поверхні дзеркала від апроксимуючої поверхні;

p_i – поверхнева або енергетична вага, з якою оцінюються відхилення в різних місцях дзеркала.

Внаслідок того, що виготовити дзеркало великого діаметру без деформацій неможливо, був розроблений метод гомологічних деформацій, який був успішно застосований при створенні ряду великих антен, в тому числі при проектуванні дзеркальних систем 64-метрової антени в Голдстоуні (США), 100-метрового радіотелескопа в Еффельсберзі і 30-метрової антени в Ліхтенау (Німеччина). Згідно цього методу допускаються значні деформації основного дзеркала. Однак деформації повинні бути такими, щоб при будь-якому куті місця деформоване дзеркало можна було б апроксимувати другим тілом обертання з другою фокусною відстанню і розміщенням в просторі. Положення апроксимуючої поверхні в просторі характеризується поперечним зміщенням вершини дзеркала d_x і кутом повороту фокальної осі Φ_x , а фокусна відстань f характеризує форму.

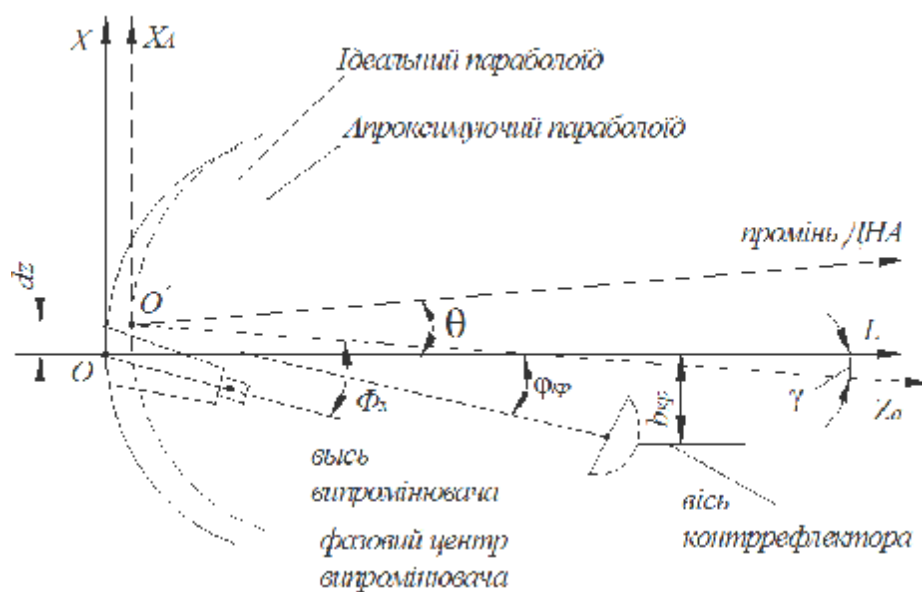


Рисунок 4.3. – Складові деформацій дзеркальної системи

Параметри d_x , Φ_x , f знаходяться з умови:

$$\dot{a} d_i^2 = \min$$

де d_i – відстань по нормалі між фактичною і апроксимуючою поверхнями в i -их точках.

Завдяки цьому методу стало можливим знаходження оптимальної у відношенні жорсткості виготовлення несучої конструкції дзеркала. Для

побудови такої конструкції вихідними даними служать згадані вище параметри гомології, отримані при розрахунку середньоквадратичних відхилень, і навантаження від силових факторів. Складна програма розрахунку гомологічного дзеркала заключається у варіюванні поперечними розмірами стержнів несучої конструкції дзеркала до тих пір, поки відхилення d_i від апроксимуючої поверхні не стануть мінімальними.

Деформації являються функціями координат деформованої поверхні. Вони мають різний характер. Розрізняють деформації положення і деформації форми дзеркальної системи. До деформацій положення відносяться такі деформації, які пов'язані із зміною взаємної орієнтації елементів дзеркальної системи. Деформації форми пов'язані із зміною форми основного дзеркала. Вказані деформації можуть бути вісесиметричними і кососиметричними. Вісесиметричні деформації зменшують коефіцієнт використання поверхні антени, не змінюючи напрям осі ДНА: кососиметричні деформації не тільки знижують коефіцієнт використання поверхні антени, але й викликають зміщення осі ДНА. Основний вплив на радіотехнічні характеристики антени і точність наведення антенної установки здійснюють кососиметричні деформації.

Існують різні методи визначення параметри апроксимуючої поверхні, розрахунку вимірювань і компенсації деформації дзеркальних систем, а також керуванням взаємним положенням елементів антенної системи.

При відсутності системи автоматичного регулювання поверхні основного дзеркала із змінною кута місця антенної установки фазові спотворення, обумовлені деформаціями дзеркальної системи, можуть компенсуватися зміщенням первинного опромінювача в одно дзеркальних системах і опромінювача і контррефлектора – в двох дзеркальних системах.

Таким чином, для реалізації методів компенсації фазових спотворень в розкритті великих антенних установок необхідно мати можливо повну інформацію про гравітаційні деформації дзеркальної системи і при різних кутах місця. Крім того в процесі роботи антенна установка піддається також вітровим і тепловим діям, які приводять до деформацій дзеркальної системи

випадкового характеру. Було встановлено, що частина сумарної похибки наведення, яка опиняється поза замкнутим контуром САК, може бути достатньо просто компенсована. Для цього необхідно давач розузгодження встановлювати таким чином, що він автоматично відхилявся від потрібного положення осі дзеркала на протилежну ознаку величину, рівну зміщенню осі ДНА від потрібного напрямку внаслідок вагових деформацій дзеркальної системи. У цьому заключається перевага азимутально кутомірних підвісок, в яких відхилення по осі ДНА виключення впливу навантажень зі сторони рухомих металоконструкцій, які піддаються дії зовнішніх збурень. У верхній частині колони у точці перетину азимутальної і кутомірної осей розміщується основний елемент системи керування – гідруючий екваторіальний інструмент. Цей інструмент має оптику-електронну слідкуючи систему, яка візує контроль точки опорної конструкції дзеркала. РТ приводить рух блоку гідруючої екваторіальної системи, який наводиться по програмі в екваторіальних координатах у відповідності з траєкторії руху космічного об'єкту. Сигнал розузгодження для керування ССП формується шляхом порівняння кутового положення блоку гідруючого екваторіального інструменту з кутовими координатами опорних точок дзеркала які характеризують його орієнтацію по азимуту і куту місця. Структурна схема САК приведена

Така побудова САК має великі переваги, так як виключає всі похибки, що порівняно повільно змінюються, які виникають нижче фланця дзеркала, вводячи їх в середину замкнутого контура САК. Похибки, обумовлені гравітаційними навантаженнями, тепловими деформаціями і вітровими діями, можуть бути виключені разом з похибками, обумовленими похибками зубчатих передач механізмів наведення. можливо наперед, для їх визначення необхідна система контролю поверхні основного дзеркала, яка працює в процесі наведення антенної установки, і алгоритми, які забезпечують достатньо швидке обчислення необхідних параметрів компенсації.

5 СПЕЦІАЛЬНА ЧАСТИНА

5.1 Використання пакету САД-системи для автоматизованого проектування друкованої плати

Інтегрована система автоматизованого проектування (САПР) РСAD є системою проектування і виробництва друкованих плат, починаючи із створення елементної бази і закінчуючи виводом конструкторської і технічної документації на друковану плату.

Пакет прикладних програм РСAD має в своєму складі в основних програми (редактори):

1. РССAPS – призначений для графічного виводу і редагування схем і схемних символів (бібліотечних елементів) і виконує побудову бібліотечних елементів; побудову схем з бібліотечних елементів. Редактор працює в символному режимі, який дозволяє створювати будь-які елементи схеми у вигляді блоків (бібліотечні елементи) і в схемному режимі, який дозволяє створювати різного роду електричні схеми з бібліотечних елементів;
2. РССARDS – призначений для вирішення наступних задач: створення елементів технологічної бібліотеки; виконання всіх робіт. Пов'язаних із редагуванням топології друкованої плати; ввід нових зв'язків між елементами для наступного автоматизованого трасування.
3. РСPLACE – призначений для автоматизованого розміщення радіоелементів на друкованій платі, дозволяє редагувати типові посадочні місця, фіксувати радіоелементи на платі, визначити вузлові точки сітки розміщення і покращення розміщення методом парних перестановок.
4. РСROUTE – програма для автоматизованого трасування з'єднань друкованої плати.

Порядок роботи. Входимо в редактор PCCAPS (PCCAPS.exe) із створеного робочого каталогу і в режимі DETL створюємо схему електричну принципову бібліотечних елементів. Запускаємо програмну утиліту PCNODES, яка формує список кіл в спеціальному двійковому коді. Після цього утворюється файл з розширенням *.ntl.

Входимо в редактор PCCARDS і в режимі DETL створюємо конструктив друкованої плати, вказавши габаритні розміри плати і межі трасування електричних зв'язків. Утворюється вихідний файл з розширенням *.pcb. запускаємо програму-утиліту PCPACK, яка призначена для заміни схемних типів схеми на технологічні. Утворюється вихідний файл з розширенням *.pkg з упакованими в мікросхеми логічними елементами. Тепер замість схеми електричної принципової з'являється образ друкованої плати, в якому є інформація про посадочні елементи, які повинні бути розміщені на друкованій платі. Також утворюються файл *.cmd, який містить список команд редактора PCCAPS, що дозволяють в автоматичному режимі нанести на електричну схему інформацію упаковочну і файл *.bnl, який містить список кіл з упаковочною інформацією і перелік схемних позначень компонентів.

Запускаємо програму PCPLACE, яка призначена для автоматичного розміщення радіоелементів на друкованій платі. Вихідний файл записуємо з розширенням *.plc.

Після цього запускаємо програму PCROUTE для виконання автоматичного трасування з'єднань, при цьому задаємо ім'я робочого файлу і стратегію трасування.

Після закінчення трасування виходимо з PCROUTE і входимо в редактор PCCARDS, в якому з вже модифікованого файлу з розширенням *.pcb. почерговою зміною активних шарів і при допомозі команд SYS/PLOT створюємо три плот-файли, які містять зображення двох сторін друкованої плати і розміщення елементів на платі. Переходимо в редактор PCCAPS і викликаємо файл .sch, який містить зображення схеми електричної принципової, створеної на початку проектування і при допомозі команд SYS/PLOT створюємо четвертий плот-файл (*.plt) для виводу схеми

електричної на принтер чи плотер.

Запускаємо програму PC PLOT і виводимо чотири файли *.plt на графопобудувач (плотер).

5.2 Аналіз результатів конструкторського проектування на ЕОМ

При створенні високо надійної апаратури ставиться комплексна задача: закласти високий рівень надійності при проектування, реалізувати його при виробництві і підтримувати в період експлуатації. Оптимальний вибір схемних і конструктивних рішень повинен попередити виникнення електричних, механічних, теплових та інших перевантажень, які в значній мірі визначають раптові експлуатаційні відмови, тобто ті, які виникають внаслідок скачкоподібної зміни заданих параметрів пристрою в режимі нормальної експлуатації. Так, наприклад, зниження теплового навантаження всього на 20% збільшує надійність в середньому в два рази.

Реальний радіоелектронний апарат в теплофізичному відношенні являє собою складну систему з великою кількістю джерел тепла складної форми. Із-за практичної неможливості не тільки рішення, але й складення повної системи рівнянь теплообміну приходиться процеси, які приходять в радіоелектронному апараті, схематизувати, приймаючи ряд спрощуючи припущень. В результаті отримують теплову модель апарату, для якої і проводять розрахунок теплового режиму.

Визначаючими параметрами для розрахунку блоку являються питомі потужності розсіювання блоку пристрою в цілому і нагрітої зони q_k q_3 відповідно [5]:

$$q_k = P_o / S_k, \quad (5.1)$$

$$q_3 = P_o / S_3 \quad (5.2)$$

де P_o – потужність, яка розсіюється апаратом;

S_k – площа поверхні корпусу.

$$S_k = 2[l_1 l_2 + (l_1 + l_2) l_3] \quad (5.3)$$

де l_1, l_2, l_3 – відповідно довжина, ширина основи і його висота;

S_3 – умовна поверхня нагрітої зони:

$$S_3 = 2[l_1 l_2 + (l_1 + l_2) l_3 k_3], \quad (5.4)$$

де k_3 – коефіцієнт заповнення об'єму.

У загальному випадку перегрів корпусу герметичного апарату, що працює в нормальних кліматичних умовах, відносно навколишнього середовища визначається залежністю:

$$v_1 = 0.1472 q_k - 0.2962 \times 10^{-3} q_k^2 + 0.3127 \times 10^{-6} q_k^3, \quad (5.5)$$

де q_k – питома потужність, Вт/м². Перегрів нагрітої зони визначається аналогічною залежністю:

$$v_2 = 0.1390 q_3 - 0.1223 \times 10^{-3} q_3^2 + 0.0698 \times 10^{-6} q_3^3. \quad (5.6)$$

Зміна атмосферного тиску ззовні корпусу впливає на перегрів корпусу апарата відносно температури оточуючого повітря, а всередині корпусу – на

перегрів нагрітої зони відносно корпусу апарата. Виходячи з цього перегрів нагрітої зони в загальному випадку визначається як:

$$v_3 = v_1 K_{H1} + (v_2 - v_1) K_{H2}, \quad (5.7)$$

де $v_1 K_{H1} = v_k$ – перегрів корпусу,

K_{H1} – визначається тиском повітря ззовні апарату:

$$K_{H1} = 0.82 + 1 / (0.925 + 4.6 \cdot 10^{-5} H_1), \quad (5.8)$$

K_{H2} – залежить від тиску середовища всередині апарату

$$K_{H2} = 0.80 + 1 / (1.25 + 3.8 \cdot 10^{-6} H_2) \quad (5.9)$$

де H_1, H_2 – атмосферний тиск, Мпа, ззовні і всередині апарату відповідно.

По отриманих даних визначають перегрів повітря в блоці:

$$v_B = 0.5(v_k + v_3) \quad (5.10)$$

Середню температуру повітря в блоці:

$$T_B = v_B + T_c \quad (5.11)$$

Температуру корпусу блоку:

$$T_K = v_K + T_c \quad (5.12)$$

Температуру нагрітої зони:

$$T_3 = v_3 + T_c \quad (5.13)$$

де T_c – температура навколишнього середовища.

Температурний режим окремих тепло навантажень елементів залежить. В першу чергу, від питомої потужності розсіювання елемента.

$$q_{el} = P_{el} / S_{el} \quad (5.15)$$

і питомої потужності розсіювання нагрітої зони q_3 . Виходячи з цього перегрів поверхні елемента визначається залежністю:

$$v_{el} = v_3(0,75 + 0,25q_{el} / q_3) \quad (5.16)$$

а перегрів оточуючого елемента середовища

$$v_{ec} = v_B(0,75 + 0,25q_{el} / q_3) \quad (5.17)$$

Залежності (5.7), (5.8) і (5.9) справедливі в наступному діапазоні зміни вихідних даних:

$$0 \leq q_3 \leq 600 \text{ Вт} / \text{м}^2; 0 \leq q_k \leq 400 \text{ Вт} / \text{м}^2; 700 \leq H \leq 1,2 \times 10^5 \text{ Па}.$$

З використанням результатів (5.16) і (5.17) визначається температура поверхні елемента:

$$T_{el} = v_{el} + T_c \quad (5.18)$$

і температура оточуючого елемент середовища

$$T_{ec} = v_{ec} + T_c \quad (5.19)$$

Отримані оцінки (5.12), (5.13) і (5.18) порівнюють із заданими в ТЗ або ТУ на елементи, при необхідності вносять зміни в конструкцію блоку або застосовують радіатори.

Приведена вище методика оцінки параметрів теплового режиму блоку радіоелектронної апаратури і окремих тепло навантажених елементів реалізована у вигляді програми на мові Turbo Pascal, яка приведена в додатку. Вихідні дані та результати роботи програми приведені на стор.153.

На рисунку 5.1 представлений алгоритм роботи програми теплового розрахунку блоку.

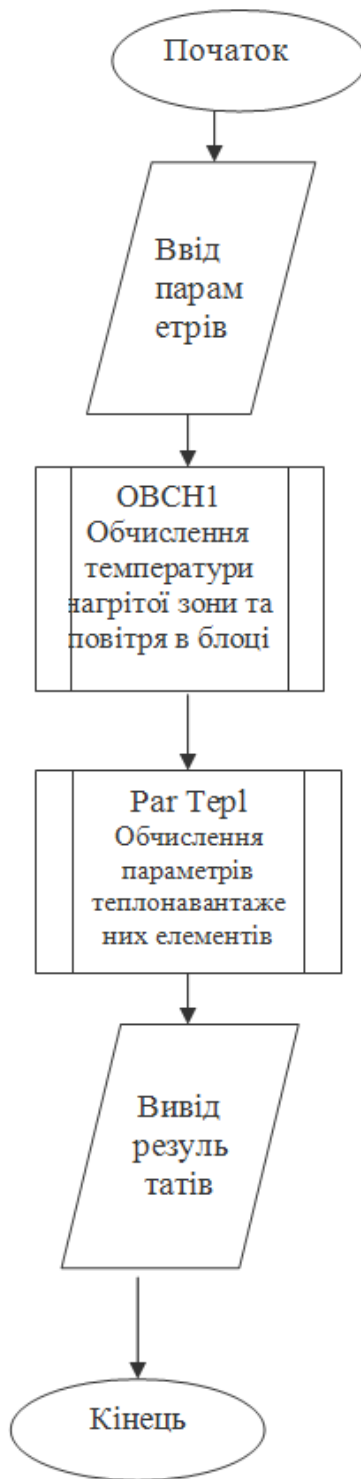


Рисунок 5.1. Алгоритм роботи програми теплового розрахунку блоку

ТЕПЛОВИЙ РОЗРАХУНОК БЛОКУ

Потужність споживана блоком 8,4Вт

Геометричні розміри блоку:

Висота – 20.00м

Довжина – 160мм

Ширина –100

Коефіцієнт заповнення блоку по об'єму – 0,7

Тиск оточуючого середовища – 0,1Мпа

Температура оточуючого середовища – 20.00град.С

Масовий розхід повітря 0,02кг/с

Температура нагрітої зони 32,0 град.С

Середня температура повітря в блоці – 20.3 град.С

Температура повітря на виході блоку – 20.5 град.С

Таблиця 5.1 – Характеристики елементів схеми

Назва і тип елементу	К-ть даного типу	Потужн. розсіювання елементом Вт	Площа поверхні елементу мм ²	Температ.пов. що оточує елемент град.С	Темпер. поверхні елементу град.С
1816VE48	1.0	0.68	745.5	20.2	30.9
K580VI53	1.0	0.70	403.0	20.4	36.7
K573RF2_	1.0	0.26	403.0	20.2	29.0
KR140UD	2.0	0.06	60.0	20.2	31.5
K1108PP1	1.0	1.35	108.0	21.9	112.3
1533IR22	2.0	0.20	156.0	20.3	33.5
1533TM8_	1.0	0.09	126.0	20.2	29.5
KT361B_	2.0	0.15	15.0	21.6	94.7
RESISTOR	18.0	0.25	21.0	21.9	108.1

Таблиця 5.2 – Результати розрахунків ймовірності безвідмовної роботи

Група 1	R	0.60	19	2.28000000000034E-0006
Група 2	C1	1.10	14	1.18580000000174E-0005
Група 3	C2	1.24	4	5.53535999999605E-0006
Група 4	C3	1.10	5	1.02850000000126E-0005
Група 5	VT	0.72	2	2.16000000000105E-0006
Група 6	SA	0.10	4	2.00000000000200E-0006
Група 7	DD	3.00	9	6.7499999999981E-0005
Група 8	<u>BQ</u>	0.65	1	6.49999999999392E-0008

Інтенсивність відказів модуля – 1 1.01683360000160E-0004

Напрацювання на відмову –9834.5 годин

Експлуатаційні параметри Клямбда 1.07 2.50 1.40

Інтенсивність відказів системи – 3.80804183200301E-0004

Ймовірність безвідмовної роботи за 130000.0 годин становить
3.16555447501476E-0022

6 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

6.1 Використання захисних елементів

На даний момент автоматизація технологічних процесів використовує широке впровадження обчислювальної техніки в системи управління, які повинні вирішувати задачі автоматизації основного технологічного устаткування, аналізу, контролю і управління технологічними процесами на основі математичних методів і використання ЕОМ, автоматизація проектування автоматизованих процесів.

Відносно цього актуальним є питання монтажу, налагодження і експлуатації устаткування. Адже нормальна, безаварійна робота приладів і систем автоматики залежить як від технічного рівня проектів, так і від якості монтажу і кваліфікованої експлуатації цих приладів і систем.

Монтажу передуює складання плану проведення робіт, який складають на монтаж систем автоматики на нових і реконструйованих підприємствах. План проведення робіт складають на основі проектної документації і зв'язують із термінами виконання будівельних чи ремонтних робіт, доставкою і монтажем технологічного обладнання, а також з прогнозованими термінами здачі об'єкта в експлуатацію.

План проведення робіт складають у наступній послідовності:

- визначають заготівельні роботи, що виконуються не на території будівельного майданчика, після чого монтажні роботи, що виконуються безпосередньо на об'єкті, що автоматизується;
- визначають об'єм робіт в фізичному і грошовому виразі і фонд заробітної плати;
- визначають терміни виконання кожного виду робіт, потребу в робочій силі, професійний склад і кваліфікацію робітників;
- складають графік виконання робіт із вказанням переміщення монтажних бригад;
- визначають витрату матеріалів та інструменту на весь об'єм робіт;
- визначають потребу в механізмах, верстатах та в іншому устаткуванні.

Після заповнення відомості об'ємів робіт і складання графіків початку і закінчення монтажних робіт з урахуванням терміну здачі в експлуатацію об'єкта складають календарний план виконання окремих видів монтажних робіт. Основою цього являється графік виконання монтажних робіт.

Трубні проводки прокладають вздовж стін і перекриттів, по колонах та інших елементах будівель, а також по естакадах і металоконструкціях.

Місця прокладання труб не повинні відчувати вібрації, механічні впливи, а також повинні бути доступні для огляду.

Перед безпосереднім монтажем трубних проводок потрібно встановити кріпильні деталі, пробити борозди й отвори. Кріпильні деталі на будівельних конструкціях кріплять цвяхоподібними дюбелями, які забивають у кладку монтажним пістолетом.

Для закріплення пластмасових кріпильних деталей, а також у випадках коли застосування пістолета заборонено, використовують розпірні дюбелі. В кладці висвердлюють кругле гніздо, в яке вставляють розпірний дюбель. В нього вкручують шуруп, що утримує кріпильну деталь. Отвори обробляють за допомогою дрелей з електричним чи пневматичним приводом.

У сухих приміщеннях кріпильні елементи проводок можуть бути приклеєні до бетонних і металічних поверхонь за допомогою клею на базі синтетичних смол.

Борозди пробивають пневматичним ударним інструментом чи застосовують електрифіковані бороздо-фрезерні засоби.

Для встановлення щитів, пультів, апаратів та інших засобів перед їх монтажем потрібно встановити металоконструкції на які власне проводиться монтаж. Обробка металоконструкцій полягає в створенні каркасу відповідної форми, обробці різьбових отворів для кріплення апаратів, обробці наскрізних фасонних вікон і отворів для монтажу апаратури двохстороннього обслуговування.

Панелі і стінки каркасу, які потребують додаткової обробки повинні бути знімними, оскільки операції виконуються на ковально-пресовому та

металоріжучому обладнанні. Ручний електрифікований інструмент застосовують при модернізації чи при обробці важкодоступних місць.

Додаткова конструктивна доробка вимагається коли апарати встановлюються в умовах відмінних від звичайних. В таких випадках використовують додаткові кронштейни з відповідними вирізами, додаткові пластини, мости та інші види кріпильних елементів.

Конструктивні доробки електроапаратів і приладів необхідно випробовувати на вибухобезпечність. Також повинно бути одержано дозвіл на їх експлуатацію в вибухонебезпечних зонах. Ці дозволи видають органи Державного контролю за вибухобезпечним обладнанням.

Після механічної обробки пульти, щити та апарати фарбують: внутрішню поверхню білою емаллю, а зовнішню поверхню в колір технологічного обладнання.

6.2 Правила розміщення щитів і пультів у технологічних приміщеннях

При монтажі щитів і пультів у технологічних приміщеннях повинна підтримуватись температура повітря 5°C. Якщо монтажно-експлуатаційними інструкціями на прилади і апарати, встановлених у щитах і пультах не вказане друге значення температури. Місця встановлення щитових конструкцій повинні відповідати вимогам експлуатації які монтуються на щитах пристроїв (стійкість до вібрації, вплив навколишнього середовища).

До початку робіт по монтажу щитів, необхідно перевірити будівельну і технологічну готовність проектної відмітки. До цього часу повинні бути виконані підготовчі роботи, змонтовані металоконструкції щитів. До таких металоконструкцій відносять перфоровані, наприклад Z-подібні.

Установчі металоконструкції закріплюють чи на підготовлених закладних елементах, або з допомогою пластмасових дюбелів чи зваркою.

Електричні і трубні проводки повинні бути прокладені і підведені до місця встановлення щитових конструкцій. Кінці електричних і пневматичних кабелів прокладають так, щоб була виключена можливість їх механічного пошкодження. Також це стосується металічних труб, прокладених до місця встановлених щитів.

Щити повинні бути розміщені на площі встановлення так, щоб була виключена можливість додаткових такелажних робіт при їх монтажі.

Конкретні місця розміщення щитових конструкцій обумовлюють їх встановлення на різних будівельних основах. Особливості основ, а також конструкцій опорних частин щитів визначає метод їх закріплення.

Існують два основних методи закріплення: розбірні і нерозбірні. Для плоских штативів і допоміжних панелей застосовують комбінований метод. Рама виробу приварюється до закладних елементів, а корпус виробу фіксується різьбовим з'єднанням.

При монтажі щитів повинні бути встановлені у вертикальне положення перед закріпленням їх необхідно вирівняти по рівню.

Овальність отворів дозволяє не виймаючи бородка, встановити в цей же отвір гвинт, після чого наживити гайку. Для щитів ЩПК, ЩП і штативів С - цю роботу рекомендується починати з отворів на задніх стойках і верхній рамі каркаса. На другому етапі всі гвинти рівномірно затягуються.

Встановлення декоративних панелей ПнД - ЩПК і ПнТД - ЩПК слід виконати після закінчення монтажу щитів.

У зв'язку з вимогами ДСТУ щити повинні мати заземлюючий стиск по ДСТУ, дозволяючий приєднання нульового захисного чи заземлюючого провідника з кольорового металу.

Заземляючий стиск розміщений на спеціальній пластині в опорній рамі щита. Заземляючий зажим повинен бути помічений знаком що не стирається.

Занулення і заземлення у щитових конструкціях повинно бути виконано у відповідності з вимогами ДСТУ 12.2.007.7-85 ССБТ.

Металічні елементи щитових конструкцій повинні мати надійне електричне з'єднання з заземляючим затиском. Значення опору між

заземляючим затиском і елементами щита, включаючи деталі для монтажу апаратів і проводок, не повинно перевищувати 0,1 Ом.

У шкафних і панельних з каркасом щитах електричне з'єднання між металічними частинами каркаса повинно бути забезпечене через закріплюючі болти, за рахунок комплектного тиску у місцях стику.

Занулення (заземлення) корпусів пристроїв, які мають спеціальні виводи "земля" виконують гнучким нульовим захисним провідником. Нульовий провідник від виводу "земля" приєднують до заземлюючого затиску, який організований на стійці каркаса щита. На нульовому провіднику який з'єднується з заземляючим затиском повинен бути відповідний кабельний наконечник.

Металічні корпуса пристроїв, які підлягають зануленню, але не мають спеціальних виводів "земля", повинні мати електричне з'єднання з металічними деталями, на яких вони встановлені.

Занулення (заземлення) щитових конструкцій у цілому повинно здійснюватись шляхом приєднання щитів до близько розташованих заземлюючих провідників сітки занулення.

6.3 Пожежна безпека

Одним з найбільш небезпечних джерел аварій є пожежа, виникнення якої характеризується відносно високою частотою. Пожежа може супроводжуватися масовим виходом з ладу важливого для безпеки устаткування, і в першу чергу, керуючих систем, систем електропостачання, а також впливом на персонал несприятливих факторів (висока температура, дим).

Найбільш часто пожежі виникають у системі газовидалення, масляних системах, системі електричних кабелів, на дизельгенераторах, трансформаторах, вугільних фільтрах.

Джерела пожеж: вибухи газу, коротке замикання електричних кабелів, попадання масла на гарячі ділянки устаткування, помилки персоналу при користуванні з вогнем у процесі ремонтних робіт, перевірок системи.

На підставі пожежних властивостей матеріалів і речовин, що застосовуються на виробництві, з врахуванням їх кількості, розмірів виробничих приміщень і особливостей технічного процесу, визначають категорію приміщень по вибухопожежній і пожежній небезпеці, а також клас зон приміщень і зовнішніх установок.

Пожежна безпека - це стан об'єкта, при якому з регламентованою імовірністю виключається можливість виникнення і розвитку пожежі, а також забезпечується захист матеріальних цінностей.

Пожежа можлива при наявності трьох факторів:

- пальної речовини;
- окислювача;
- джерела запалення.

Запобігти пожежі можна або запобіганням утворення пального середовища, або запобіганням утворення в пальному середовищі (або внесення в неї) джерел запалення.

Запобігання утворення пального середовища забезпечується:

1) використанням у системах змащення і регулювання турбоагрегатів і головних циркуляційних насосів важкогорючих рідин ;

2) у маслоохолоджувальних трансформаторах за рахунок інтенсифікації теплообміну зменшенням об'єму використовуваного масла;

3) на масло системах виконані трубопроводи аварійного дренажу масла, діаметр зливних трубопроводів забезпечує злив масла в аварійну ємність за 15 хвилин;

4) маслосмазопроводи виконані з безшовних труб з мінімальною кількістю швів і фланцевих з'єднань. Фланцеві з'єднання використані типу “шип-паз”, “виступ-впадина”;

5) підтримці концентрації палих газів поза межами їхнього запалення шляхом вентиляції виробничих приміщень. Для герметичної зони встановлена витяжна вентиляційна система герметичних приміщень.

Для організованого відводу тепла і допалювання водню, що утвориться в т/н I-го контуру, призначена система допалювання водню, що являє собою сукупність трьох підсистем, з'єднаних послідовно:

- підсистема подачі пари деаератора підживлення I-го контуру до установки спалювання водню;
- установка спалювання водню, що включає в себе електродвигун ОКБ-1539 і контактний апарат (каталізатор і електронагрівник ОКБ-1586) для спалювання водню;
- підсистема подачі невибухонебезпечних парогазової суміші в систему спецгазоочистки.

Для запобігання утворення в пальному середовищі джерел запалювання виконано наступне:

- склади дизельного палива, винесені ресивери водопроводу, маслогосподарства, масляні трансформатори, що забезпечені пристроями громозахисту;
- мастилопроводи прокладаються осторонь від гарячих джерел, або відгороджуються від них спеціальними живильними коробами, виготовленими з листової сталі;
- при роботі з легкозаймистими речовинами використовують безпечний інструмент.

6.4 Пожежний захист виробничих об'єктів

Автоматична пожежна сигналізація є важливою мірою запобігання великих пожеж, тому що час між виникнення пожежі і приїзду пожежної бригади проходить значно багато, що в більшості випадків приводить до повного охоплення полум'ям приміщення. Основна задача автоматичної

пожежної сигналізації - виявлення початкової стадії пожежі, передача повідомлення про місце і час його виникнення і при необхідності включення автоматичних систем пожежегасіння і димовидалення.

Функціонально автоматична пожежна сигналізація складається з приймально-контрольної станції, що через сигнальні лінії з'єднана з пожежними сповіщувачами. Задача сигнальних сповіщувачів є перетворення різних проявів пожежі в електричні сигнали.

Швидкість спрацьовування автоматичної пожежної сигналізації в основному визначається швидкістю спрацьовування первинних сповіщувачів. В даний час найбільш часто використовуються теплові, димові, світлові і звукові пожежні сповіщувачі.

Запобігання розвитку пожежі залежить не тільки від швидкості його виявлення, але і від вибору засобів і способів пожежегасіння.

Вибір засобів і способів пожежегасіння. Для придушення процесу горіння можна знижувати вміст пального компонента, окислювача (кисню повітря), знижувати температуру чи процесу збільшити енергію активації реакції горіння. Відповідно до цього в даний час при гасінні пожеж використовують один з наступних основних способів:

- ізоляцію вогнища горіння від чи повітря зниження шляхом розведення повітря непальними газами, концентрації кисню в повітрі до значення, при якому не може відбуватися процес горіння;

- охолодження вогнища горіння нижче визначених температур (температур samozапалювання, запалення і спалахи палих речовин і матеріалів);

- інтенсивне інгібування (гальмування) швидкість хімічної реакції окислювання;

- механічний зрив полум'я в результаті впливу на нього сильного струменя чи газу рідини;

- створення умов вогнезагородження, при яких полум'я змушене поширюватися через вузькі канали.

Для реалізації перерахованих способів гасіння пожеж використовують різні вогнегасячі речовини. До них відносяться в першу чергу вода найдешевший і доступний матеріал, пісок, пожежні щити з устаткуванням, вогнегасники є одним з найбільш ефективних первинних засобів пожежегасіння, інертні розріджувачі застосовуються для об'ємного гасіння, останнім часом для гасіння пожеж усе більш широко застосовують вогнегасячі порошки.

ВИСНОВКИ

У кваліфікаційній роботі виконано розробку заходів з удосконалення автоматизованого електроприводу позиціювання параболічної антени супутникових систем зв'язку.

Проведено огляд літератури в галузі керування наземними антенами супутникового зв'язку і розглянуті питання побудови систем автоматизованого керування антенними системами.

Здійснено модернізація автоматизованої системи керування параболічною антеною з діаметром рефлектора 7м, розробленої на Тернопільському заводі "Сатурн".

Розроблена нова схема керування, яка базується принципі екстремального наведення, тобто автоматичного наведення на максимум сигналу, що приймається і виконана на основі одно кристальної мікро-ЕОМ. Також розроблена схема силового слідкую чого приводу для керування виконавчими механізмами опорно-поворотного пристрою.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Белянский П.В., Сергеев Б.Г. Управление наземными антеннами и радиотелескопами. – М.: Сов. Радио, 1980. – 280 с
2. Сомов А.М., Корнев С.Ф. Спутниковые системы связи Учебное пособие для вузов. Под ред. А.М. Сомова 2014 - 244 стр.
3. Сомов, А.М. Спутниковые системы связи: Учебное пособие для вузов / А.М. Сомов, С.Ф. Корнев. - М.: РиС, 2015. - 244 с.
4. Томаси, У. Электронные системы связи / У. Томаси. - М.: Техносфера, 2007. - 1360 с.
5. Андреев, В.А. Направляющие системы электросвязи. В 2 тт. Т. 1. Теория передачи и влияния / В.А. Андреев, Э.Л. Портнов и др. - М.: ГЛТ, 2011. - 424 с.
6. Андреев, В.А. Направляющие системы электросвязи: Учебник для вузов. В 2-х томах. Том 2 – Проектирование, строительство и техническая эксплуатация / В.А. Андреев, Э.Л. Портнов, Л.Н. Кочановский. - М.: Горячая линия - Телеком, 2010. - 424 с.
7. Ориентация и навигация подвижных объектов: современные информационные технологии. Под ред. Б.С. Алёшина, К.К. Веремеенко, А.И. Черноморского. М.: Физматлит, 2006. - 424 с.
8. Соловьёв Ю. А. Системы спутниковой навигации. М.: Эко-Трендз 2000. - 268 с
9. 20. Головин, О.В. Системы и устройства коротковолновой радиосвязи / О.В. Головин, С.П. Простов. - М.: ГЛТ , 2006. - 598 с.
10. Мизайлов, В.Ф. Космические системы связи: Учебное пособие / В.Ф. Мизайлов, Н. Мошкин, И.В. Брагин. - СПб.: ГУАП, 2012. - 174 с.
11. Портнов, Э.Л. Направляющие системы электросвязи. В 2-х т. Т. 2. Проектирование, строительство и техническая эксплуатация: Учебник для вузов / Э.Л. Портнов. - М.: Гор. линия-Телеком, 2010. - 424 с.
12. Будылдина, Н.В. Системы документальной электросвязи: Учебное пособие для вузов / Н.В. Будылдина. - М.: ГЛТ, 2011. - 200 с.

13. Весоловский, К. Системы подвижной радиосвязи / К. Весоловский. - М.: ГЛТ, 2006. - 536 с.
14. Михайлов Р.Л. Описательные модели систем спутниковой связи как космического эшелона телекоммуникационных систем специального назначения. Монография. – СПб.: Научно-технические технологии, 2019. –150 с.
15. Теорія електропривода: Підручник. За ред. М. Г. Поповича – К.: Вища шк., 1993 – 494 с.
16. Москаленко В. В. Автоматизированный электропривод: Учебник для вузов. – М.: Энергоатомиздат; 1983. - 616 с.
17. Справочник по автоматизированному электроприводу. Под ред. В. А. Елисеева и А. В. Шинянянского М.: Энергоиздат, 1983. 616 с.
18. New Antenna Array Architectures for Satellite Communications. Miguel Alejandro Salas Natera, Andrés García Aguilar. – Режим доступа: <https://www.intechopen.com/chapters/16873>
19. A Hybrid Beamforming Design for Massive MIMO LEO Satellite Communications. Joan Palacios, Nuria González-Prelcic, Carlos Mosquera, Takayuki Shimizu and Chang-Heng Wang – Режим доступа: <https://doi.org/10.3389/frspt.2021.696464>