

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ОДЕСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ЕКОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Гідрометеорологічний інститут
Кафедра Автоматизованих систем
моніторингу навколишнього
середовища

МАГІСТЕРСЬКА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на тему: Моделювання та аналіз перетворювачів метеорологічних величин
телеметричного тракту в системах радіозондування атмосфери

Виконав студент 2 курсу групи МАГ- 18
спеціальності 103 Науки про Землю
Чернишов Вадим Альбертович

Керівник к.т.н., доц.
Гор'єв Сергій Адольфович

Консультант _____

Рецензент к. геогр. н., доц.
Лужбін Анатолій Михайлович

Одеса 2019

АНОТАЦІЯ

Представлена робота на тему Чернишова Вадима Альбертовича на тему «Моделювання та аналіз перетворювачів метеорологічних величин телеметричного тракту в системах радіозондування атмосфери».

Мета магістерської роботи – це показати розрахунок та візуалізацію температури, відносної вологості та тиску атмосфери при радіозондуванні і за допомогою аерологічної діаграми і математики вивести данні на комп'ютер.

Для досягнення зазначеної мети необхідно вирішення наступних завдань:

1. У процесі реалізації зондування вимірювати температуру й відносну вологість повітря, а також поточні координати радіозонда.

2. Для вимірювання вологості в радіозонді використається комбінований датчик, у якому вологість перетворюється в електричний сигнал шляхом дворазового перетворення.

3. Після обробки даних вносимо їх на комп'ютер та будуємо аерологічні діаграми.

У своїй магістерській роботі я розглядав метеорологічні результати вимірювань, які виконуються за допомогою різних вимірювальних систем.

Магістерська робота містить: 71 с., рис. 10, табл.17, додаток 1, використаних літературних джерел 25.

КЛЮЧОВІ СЛОВА:

зондування, радіолокація, вітер, атмосфера, спостереження, куле-пілот, методи

SUMMARY

The topic of this thesis, made by Chernyshov Vadim Albertovic is “ Modeling and analysis of converters of meteorological values of telemetry tract in atmospheric sounding systems”.

The purpose of the master's thesis is to show the calculation and visualization of temperature, relative humidity and atmospheric pressure during radio sounding and to output data to a computer using aerological diagram and mathematics.

To achieve this goal, you must solve the following problems:

1. In the process of sounding, measure the temperature and relative humidity of the air, as well as the current coordinates of the radio probe.
2. A combined sensor is used to measure the humidity in the radio probe, in which the humidity is converted into an electrical signal by two-fold conversion.
3. After the data is processed, we enter it into a computer and build aerological charts.

In my master's thesis, I considered the meteorological results of measurements performed with the help of different measuring systems.

The master's thesis contains: 71 p., Fig. 10, table. used literature sources 25.

KEYWORDS:sounding,radar,wsnd,atmosphere,observation,ball pilot,methods.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	6
1 ОСНОВНІ МЕТОДИ ЗОНДУВАННЯ АТМОСФЕРИ.....	7
1.1 Світова мережа зондування атмосфери.....	10
1.2 Вимоги, що пред'являються до аерологічної інформації.....	14
2 ВІМІР МЕТЕОВЕЛИЧИН АТМОСФЕРИ СИСТЕМАМИ РАДІОЗОНДУВАННЯ	18
2.1 Вимірювальні перетворювачі температури.....	20
3 СИСТЕМА РАДІОЗОНДУВАННЯ АТМОСФЕРИ.....	31
3.1 Радіотелеметрія систем зондування.....	31
3.2 Радіозонди типу МАРЗ.....	34
3.3 Радіозонд типу МРЗ.....	39
3.4 Розрахунок та аналіз характеристик перетворювача метеорологічних величин радіозондів.....	43
4 РОЗРОБКА І СХЕМОТЕХНОЛОГІЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ВУЗЛІВ РАДІОЗОНДА, З ВИКОРИСТАННЯМ ПРОГРАМНОГО ПРОДУКТУ ELECTRONICS WORKBENCH.....	49
ВИСНОВКИ.....	63
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ.....	64
Додаток А. Графічна частина магістерської роботи.....	67

ВСТУП

Розвиток авіації, енергетики, атомної промисловості, транспорту, ракетобудування вимагає знань про просторові характеристики метеорологічних полів атмосфери і відповідно використання нових дистанційних засобів вимірювань. Погодні умови дуже впливають на сільське господарство, визначають споживання енергії, безпеку польотів авіації та ефективність роботи наземного транспорту. Людська діяльність залежить від змін погоди і коливань клімату. Відомі випадки, коли суворі зими, тривалі посухи, які охоплювали значні території, завдавали шкоди економіці цілих держав. Життя людського суспільства пов'язана з атмосферою, кліматом і погодою.

Атмосфера - повітряний оболонка нашої планети є предметом науки метеорології, що вивчає атмосферні процеси у всьому їх різноманітті, взаємодія атмосфери з гідросферою і літосферою (поверхнею землі), досліджує причини виникнення різних атмосферних явищ з метою розробки методів їх прогнозу.

Основним методом аерологічних досліджень є зондування, тобто вимір різних метеорологічних величин за допомогою піднімаються в атмосферу .

Перспективи подальшого розвитку техніки радіозондування, перш за все, пов'язані з удосконаленням існуючої апаратури, окремих її елементів та вузлів. Їхньою метою зазвичай є підвищення точності вимірювань, зниження експлуатаційних витрат, поліпшення технічних характеристик, зручності обслуговування і ін.

1 ОСНОВНІ МЕТОДИ ЗОНДУВАННЯ АТМОСФЕРИ

Предмет і завдання аерології (методи зондування атмосфери). Для встановлення об'єктивних закономірностей, що відбуваються у вільній атмосфері, необхідно її дослідження. Предметом вивчення аерології є методи отримання інформації про стан вільної атмосфери. Під вільною атмосферою розуміється та частина атмосфери, яка розташовується вище прикордонного шару (шару тертя), тобто шару атмосфери, на який не поширюється безпосереднє вплив поверхні землі. Від обсягу, якості та своєчасності надходження первинної метеорологічної інформації в значній мірі залежить ефективність її використання споживачами. Зокрема, саме від цих характеристик первинної метеорологічної інформації залежить правильність аналізу і успішність прогнозу атмосферних процесів. Більш того, прогнозування погоди неможливо без інформації не тільки про поточному, а й про попередні станах атмосфери і підстильної поверхні. Причому, чим більше завчасність прогнозу, тим повніша і з більшого простору повинна надходити метеорологічна інформація. Так, для сучасного середньострокового прогнозу погоди необхідна метеорологічна інформація зі всієї земної кулі. Цілі і завдання використання первинної метеорологічної інформації визначають сукупність вимог до основних її характеристик. Найважливішою характеристикою первинної метеорологічної інформації є її точність. Вимоги до точності інформації визначають властивості вимірювальних систем для проведення метеорологічних вимірювань [1].

Велике значення мають також характеристики, що визначають дозвіл в просторі і часі (періодичності) інформації, що надходить. Підставою для формування конкретних вимог щодо ступеня дозволу інформації в просторі і часі може бути оцінка втрат і переваг, пов'язаних з використанням інформації, що має різну ступінь дозволу і точності. У завданнях прогнозу погоди ці вимоги виникають і в зв'язку з конкретною реалізацією чисельних

моделей циркуляції атмосфери. До загальних характеристик метеорологічної інформації слід віднести її глобальність, тривимірність, комплексність, регулярність і синхронність. Глобальність передбачає, що первинна метеорологічна інформація повинна бути отримана з територій, порівнянних з площею континентів, а в ідеалі - зі всієї земної кулі. Так як розвиток атмосферних процесів відбувається не тільки на великих територіях, а й значною товщі повітря, то і дані спостережень повинні характеризувати стан атмосфери не тільки над великими площами, але в значному діапазоні висот, що і означає її тривимірність. Оскільки аналіз атмосферних процесів передбачає одночасний розгляд полів різних метеорологічних величин, то очевидним стає в Безперервний характер і відносно велика швидкість атмосферних процесів призводять до того, що найповніша і якісна метеорологічна інформація може втрачати свою цінність в разі її старіння. Тому невід'ємним вимогою до первинної метеорологічної інформації є оперативність її надходження. Досить очевидним є і необхідна регулярність здійснення спостережень при отриманні первинної метеорологічної інформації. А ось включати до недавнього часу вимога синхронності проведення метеорологічних спостережень (в єдині моменти часу) на всій території земної кулі в даний час не має настільки категоричного характеру, хоча і є істотним для деяких видів оперативних спостережень. обумовлено це широким розвитком автоматизованих систем аналізу атмосферних процесів. В останні роки на основі спеціальних досліджень були сформульовані конкретні вимоги до метеорологічної інформації, одержуваної різними методами. Слід помітити при цьому, що в зв'язку з використанням її при вирішенні численних наукових і практичних завдань в метеорології, фізиці атмосфери, кліматології і екології такі вимоги до певними характеристиками можуть помітно відрізнятися [1]. Величезна різноманітність як по фізичній природі, так і по просторовим і тимчасовим масштабами явищ і процесів в атмосфері визначає різноманітність вимірювальних засобів, що використовуються для отримання первинної метеорологічної інформації.

Багато з них були спеціально розроблені для метеорологічного застосування, деякі методи були запозичені з суміжних областей науки. В науці і техніці існують суворі термінологічні стандарти різних типів вимірювань. Виходячи з особливостей метеорологічних вимірювань можна запропонувати наступну класифікацію типів метеорологічних вимірювань. Прямі вимірювання - вимірювання, в яких використовуються еталони цікавлять характеристик (величин) стану довкілля. Це, наприклад, вимірювання довжин об'єктів з допомогою еталонів відстаней, маси - за допомогою еталонів маси і т.д. Слід зауважити при цьому, що прямих вимірювань в такому розумінні при реалізації методів зондування атмосфери практично немає. Непрямі знаходять на підставі відомої залежності між цією величиною і величинами, що піддаються прямим вимірам. Таке визначення відповідає термінологічному стандарту, і при його широкому тлумаченні практично всі методи зондування атмосфери відносяться до непрямим вимірам. Локальні вимірювання - вимірювання, при яких датчик (як прямих, так і непрямих вимірювань) знаходиться в безпосередньому контакті з досліджуваної середовищем. Часто все розмаїття подібних методів називають контактними методами. При дослідженні атмосфери їх зазвичай називають також аерологічними методами, заснованими на застосуванні первинних вимірювальних перетворювачів (ПП), що доставляються безпосередньо в ту точку простору, де необхідно проводити виміру. Дистанційні вимірювання - вимірювання параметрів фізичного стану середовища, здійснювані на різних відстанях від точки, де проводяться вимірювання за допомогою реєстрації характеристик різних полів (електромагнітних, акустичних і ін.). Вимірювання додаткових характеристик стану атмосфери - мікроструктури хмар, радіації, озону, атмосферної електрики називають спеціальним зондуванням. Різноманітні види зондування атмосфери і їх інформаційні системи визначають зміст сучасної аерології [2].

1.1 Світова мережа зондування атмосфери

Для розуміння процесів, що відбуваються в атмосфері в певному місці земної кулі, необхідно мати інформацію про стан атмосфери в тих районах, з яких прийшла повітряна маса. Для розуміння загальної циркуляції атмосфери необхідні зусилля всіх країн в організації аерологічних спостережень і обміні інформацією. Перший Міжнародний конгрес метеорологів відбувся в 1873 р, в ньому брали участь представники 20 держав, вони створили Міжнародну метеорологічну організацію (ММО). Істотну роль в історії досліджень вільної атмосфери зіграла Міжнародна аеронавтична комісія, утворена в 1896 р, пізніше ця комісія іменувалася «Міжнародна комісія наукового повітроплавання», «Міжнародна комісія для дослідження вільної атмосфери» і до 1945 р «Міжнародна аерологічна комісія», яка входила до складу Міжнародної метеорологічної організації. Російські вчені М.А. Рикачев, М.А. Поморцев і В.В. Кузнєцов брали участь в роботі Міжнародної аерологічної комісії і в проведенні міжнародних досліджень [2]. У 1947 р при Організації об'єднаних націй була організована Всесвітня метеорологічна організація (ВМО), в завдання якої входить:

- сприяння міжнародному співробітництву в організації мережі метеорологічних станцій;
- допомога у створенні систем для швидкого міжнародного обміну метеорологічною інформацією;
- стандартизація метеорологічних спостережень з метою досягнення однаковості форм публікації і статистичної обробки результатів спостережень;
- розширення використання метеорології в авіації, мореплавстві, освоєнні водних ресурсів, сільському господарстві та інших галузях діяльності. Сьогодні членами ВМО є близько 150 держав. Питання аерології веде комісія за приладами і методам спостережень. Узагальненням результатів

досліджень вчених різних країн і плануванням наукових експериментів займається комісія атмосферних наук. Для вирішення конкретних проблем в рамках ВМО періодично організовуються робочі групи, до складу яких включаються відомі фахівці з різних країн, вищим органом ВМО є Всесвітній метеорологічний конгрес. Для дослідження атмосферних процесів різних масштабів необхідна велика кількість станцій, що утворюють мережу з дозволом, достатнім для реалізації чисельних методів прогнозу погоди. Під дозволом, стосовно спостережної мережі, розуміється відстань між пунктами (просторове розрізнення) і часовий інтервал між термінами спостережень (тимчасовий дозвіл). Необхідний оперативний обмін інформацією між різними країнами і регіонами, тому створення глобальної спостережної мережі - це одна з головних задач ВМО. В даний час на земній кулі успішно функціонує всесвітня служба погоди (ВСП) - світова система, в яку входять сухопутні і морські метеорологічні, буйкові, аерологічні станції та інші засоби спостережень (метеорологічні супутники, літаки, врівноважені кулі), що працюють за єдиною програмою. Спостереження проводяться за всесвітнім (грінвічським) часу в 00, 03, 06 і т. д. До складу ВСП входить також Глобальна система зв'язку, завданням якої є швидкий обмін даними спостережень і обробленої інформацією, і центри для обробки даних спостережень і зберігання матеріалів в глобальному масштабі. Загальна кількість аерологічних станцій досягло 800, з яких 700 розташовані в північній півкулі. Нерівномірність мережі є одним з головних перешкод у вивченні глобальної погоди. [3] Розвиток науки і техніки висунуло ряд глобальних проблем. Одна з них (проблема вивчення навколишнього середовища) вимагає ясного розуміння взаємодії різних механізмів, що діють в атмосфері, океані і на підстильній поверхні. Сучасний рівень знань цих механізмів недостатній для вирішення метеорологічних завдань, таких як вивчення клімату і його змін, розробка методів прогнозу погоди на терміни різної завчасності, розробка методів активного впливу на урагани та інші стихійні метеорологічні явища з метою зменшення принесеного ними шкоди.

Сімдесяті роки XX ст. увійшли в історію як роки інтенсивного наукового співробітництва метеорологів в справі інтенсивного вивчення глобальних атмосферних процесів. В зокрема, були виконані великі дослідження за Міжнародною програмою досліджень глобальних атмосферних процесів (ПГАП). У червні-вересні 1974 був здійснений перший в світі міжнародний регіональний Атлантичний тропічний експеримент ПГАП (АТЕП або ТРОПЕКС-74), метою якого було дослідження атмосферних процесів різних масштабів і взаємодії атмосфери і океану. В АТЕП брало участь 31 науково-дослідне судно, 12 літаків і вся наземна мережа в районі експерименту. Збір та обробка величезної кількості інформації, отриманої в експериментах ПГАП, проводилися в трьох світових метеорологічних центрах (ММЦ) - Мельбурне, Москві та Вашингтоні. Архівацію і поширення даних виконували світові центри даних (СЦД). У Москві і Обнінську (Калужська область) при Всесоюзному науково-дослідному інституті гідрометеорологічної інформації є Світовий центр даних - МЦД-Б (МЦД-А знаходиться в Вашингтоні). У 1978-1979 рр. був здійснений наглядовий період Першого глобального експерименту ПГАП. Близько 9200 метеорологічних станцій проводили спостереження за явищами погоди, тиском, вітром і температурою у поверхні Землі. Приблизно 850 аерологічних станцій проводили вимірювання вертикальних профілів тиску, температури, вітру і вологості. Понад 700 судів проводили метеорологічні спостереження, в їх числі близько 55 виконували аерологічні спостереження. Полярно-орбітальні супутники забезпечували зйомку хмарності, виробляли температурне зондування атмосфери і вимірювання температури поверхні моря. П'ять геостаціонарних супутників вели спостереження в межах 30° по широті по обидві сторони від екватора. Ці спостереження включали зйомку хмарності і визначення швидкості руху хмарних систем [3]. У тропічній зоні працювали 10 дослідних літаків США, літаючи на висоті близько 10 км і скидаючи радіозонди через 300 км. Для вивчення траєкторій руху і властивостей повітряних мас в тропіках було випущено близько 300 дрейфуючих куль. У південній півкулі було

встановлено понад 300 дрейфуючих буїв, вимірювали атмосферний тиск і температуру води і повітря. Дані, зібрані під час ПГЕП, є основою для створення прогностичних моделей погоди і клімату. У 80-і рр. XX ст. увагу метеорологів було залучено до так званих енергоактивні зон океану, тобто районам, де взаємодія атмосфери і океану відбувається з максимальною активністю (програма «розрізи» і міжнародний експеримент ТОДА - дослідження тропічних областей океану і глобальної атмосфери). Глобальна система спостережень (GOS - Global Observing System) здійснює вимірювання численних параметрів атмосфери і поверхні для вирішення наукових і прикладних проблем в інтересах різних наук про Землю - метеорології, океанології, кліматології та ін. Відзначимо, що ця система постійно вдосконалюється і доповнюється в зв'язку з тим, що багато оптимальні вимоги по вимірах різних характеристик атмосфери і поверхні в даний час ще не вдається виконати [3]. Основні складові цієї системи складаються з наступних підсистем (рис. 1.1):

- наземних метеорологічних і автоматичних метеорологічних станцій;
- аерологічних станцій (станцій радіозондирования);
- мережі метеорологічних радіолокаційних спостережень;
- систем морських спостережень (комерційні та науково-дослідні судна (Судна-погоди), буї різного типу);
- систем літакових спостережень;
- супутникової системи (оперативні полярні і геостаціонарні супутники, дослідницькі супутники, міжнародна космічна станція (МКС));
- інших систем спостережень;
- станцій прийому супутникової інформації;
- центрів обробки, систематизації та зберігання даних вимірювань;
- центрів метеослужби (національних, регіональних і міжнародних).

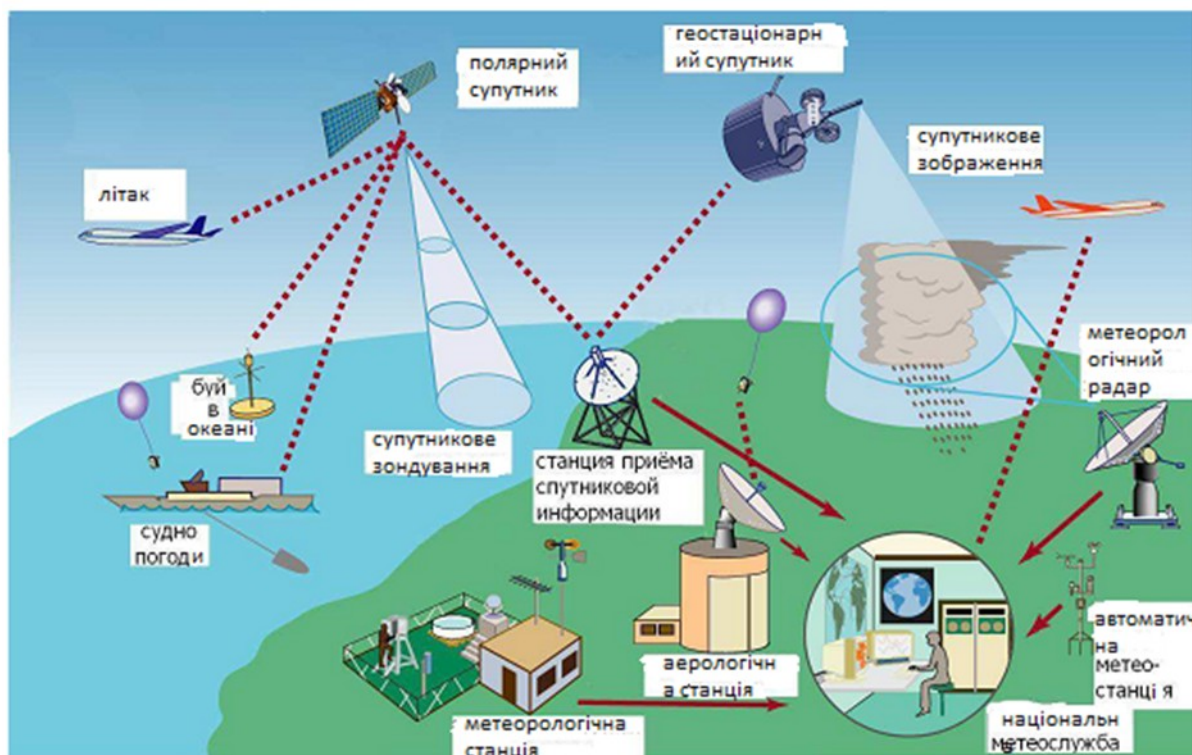


Рисунок 1.1- Система глобальних спостережень

1.2 Вимоги, що пред'являються до аерологічної інформації

Сукупність відомостей про стан атмосфери і підстильної поверхні, що задається за допомогою значень окремих метеорологічних величин, називається метеорологічною інформацією. За своїм виглядом метеорологічна інформація поділяється на первинну, тобто безпосередньо отримується в результаті метеорологічних спостережень, і вторинну, що надходить на основі обробки первинної метеорологічної інформації та подану в формі зведень і синоптичних карт. Від обсягу, якості та своєчасності надходження первинної метеорологічної інформації в значній мірі залежить ефективність її використання споживачами, зокрема, і успішність прогнозу атмосферних процесів. Прогнозування погоди неможливо без інформації про поточні та попередніх станах атмосфери, тому, чим більше завчасність прогнозу, тим більше повна і з більшого простору повинна надходити інформація [4]. Сукупність вимог до первинної

метеорологічної інформації залежить від цілей і завдань щодо її використання. Найважливішою характеристикою первинної метеорологічної інформації є точність її вимірювання. Вимоги до точності диктують вимоги до вимірювальних систем, що використовуються для проведення метеорологічних вимірювань. Велике значення мають також вимоги до розв'язання в просторі і часі (періодичності) інформації, що надходить. Підставою для формування конкретних вимог є оцінка втрат і переваг, пов'язаних з використанням інформації, що має різну ступінь дозволу і точності. У завданнях прогнозу погоди ці вимоги обумовлені також конкретною реалізацією чисельних моделей циркуляції атмосфери. Основним споживачем первинної метеорологічної інформації є служба погоди, при цьому пред'являються загальні вимоги: глобальність, тривимірність, комплексність, регулярність і синхронність. Глобальність передбачає, що первинна метеорологічна інформація повинна бути отримана з територій, порівнянних з площею континентів, а в ідеалі - зі всієї земної кулі. Так як розвиток атмосферних процесів відбувається не тільки на великих територіях, а й значною товщі повітря, то і дані спостережень повинні характеризувати стан атмосфери не тільки над великими площами, але і в значному діапазоні висот, тобто первинна метеорологічна інформація повинна бути тривимірною. Оскільки аналіз атмосферних процесів включає одночасний розгляд полів різних метеорологічних величин, то природним є вимога комплексності первинної інформації. З огляду на безперервного характеру і щодо великий швидкості зміни атмосферних процесів навіть найповніша і якісна метеорологічна інформація втрачає свою цінність для прогнозу погоди, якщо вона застаріла. Тому невід'ємною вимогою до первинної метеорологічної інформації є оперативність її надходження до споживача, тобто вона повинна бути отримана, оброблена і передана споживачу в мінімально допустимі терміни. Істотним є вимога регулярності здійснення спостережень для отримання первинної метеорологічної інформації [5]. А ось включати до останнього часу вимога синхронності

проведення метеорологічних спостережень (в єдині фізичні моменти часу) на всій території земної кулі в даний час не носить категоричного характеру. Існуючі в даний час чисельні схеми аналізу і прогнозу погоди можуть, поряд з синхронної, використовувати і асинхронну інформацію, т. е. інформацію, одержувану в довільних точках і в довільні (що не збігаються між собою) моменти часу. Це дуже важливо для метеорологічної інформації, отриманої за допомогою методів дистанційного зондування атмосфери і, зокрема, для супутникової інформації, за своєю природою є асинхронної. В останні роки на основі спеціальних досліджень були сформульовані конкретні вимоги до одержуваної різними методами інформації. При цьому у зв'язку з використанням інформації при вирішенні численних наукових і практичних завдань у фізиці атмосфери, кліматології і охорони навколишнього середовища такі вимоги можуть помітно відрізнятися як по точності, так просторовому і тимчасовому вирішенню, а також необхідного охоплення території спостереженнями. У табл. 1.1 наведені основні характеристики таких вимог, що виникають при вирішенні проблем прогнозу погоди і дослідженнях клімату Землі [5].

Таблиця 1.1- Вимоги до інформації (прогноз погоди і дослідження клімату Землі)

Параметр	Точність вимірювання		Просторову роздільну здатність	Періодичність	Охоплення спостереженнями
	бажана	необхідна			
Хмари					
Бальність	2%	5%	1*1 км	6год.	Р
Бальність	2%	5%	50*50 км	6год.	Р,Г
Висота верхньої межі	0,25км	0,5км	1*1км	6год.	Р
Альbedo	0,01	0,02	50*50км	6 год.	Р,Г
Водність	0,5кг/м ²	0,1кг/м ²	50*50 км	6 год.	Р,Г
Сніг					
Покриття	5%	10%	1*1 км	7 днів	Р
Покриття	5%	10%	50*50 км	7 днів	Р,Г
Вологість	5%	10%	30-1000 м	2 дня	Р
Температура приземна					
Суша і океан	0,5 К	1,0К	1-2 км	12 год.	Р,Г
Води суши	0,1 К	0,5К	30 км	12 год.	Р
Лед	0,5 К	1,0 К	1 км	1 день	Р,Г
Лед суши					

Товщина	1%	2%	1 км	50 років	Р
Швидкість	5%	5%	100 км	10 років	Р
Температура	1К	1К	100км	1 рік	Р
Маса	5%	10%	100 км	10 років	Р
Температура вільної атмосфери					
Тропосфера	0,5 К	1,0К	100*100*2,5 км	12-24 годин	Г
Стратосфера	1 К	2К	500*500*3,5 км	12-24 годин	Г
Верхня	4К	10К	500*500*3,5 км	12-24 годин	Г
Вітер					
Тропосфера	1м/с	2м/с	100*100*3,5 км	12 годин	Р,Г
Стратосфера	2м/с	3м/с	500*500*3,5 км	24 години	Г
Верня	5м/с	10м/с	500*50*3,5 км	24 години	Г
Радіація					
Короткохвильов а	2%	5%	1*1 км	24 години	Р,Г
Довгохвильового	2%	5%	1*1 км	24 години	Р,Г
Сумарна	2%	5%	100*100 км	6 годин	Г

Примітка: Р - регіональний, Г - глобальний.

2 ВИМІРЮВАННЯ МЕТЕОВЕЛИЧИН АТМОСФЕРИ СИСТЕМАМИ РАДІОЗОНДУВАННЯ

Аерологічні вимірювання відносяться до класу метеорологічних і їх мета - вимір метеорологічних величин вільної атмосфери. Особливістю аерологічних вимірювань є те, що вони проводяться не в одній точці, як це робиться при наземних метеорологічних вимірах, а при русі вимірювального приладу по вертикалі і горизонталі. Діапазон зміни значень різних фізичних величин по вертикалі у вільній атмосфері набагато більше, ніж у земної поверхні. Так, добові коливання температури повітря біля поверхні землі в помірних широтах велику частину року в середньому не перевищують $5-10^{\circ}\text{C}$ (в пустелі вони досягають 30°C), тоді як при підйомі зонда від поверхні землі до стратосфери температура може змінитися на $90-100^{\circ}\text{C}$ (Наприклад, від $+30^{\circ}\text{C}$ у землі до -70°C в стратосфері). Вологість повітря також може змінюватися від 100 до кількох відсотків. Тиск повітря змінюється в 20 разів і більше. Підлягають виміру метеорологічні параметри вільної атмосфери мають великий часової і просторової мінливості, що призводить до необхідності мати в вимірювальних приладах значний динамічний діапазон. Ці умови визначають одне з основних вимог до аерологічними приладів - їх малу інерційність, тобто вимога, щоб чутливі елементи (датчики) приладів миттєво реагували на швидкі зміни значень метеорологічних величин. Аерологічні прилади реєструють зміни певних фізичних характеристик чутливих елементів, наприклад, деформацію механічних датчиків, опір електричних чутливих елементів, які відбуваються під час підйому приладу. Більшість аерологічних приладів призначене для проведення дистанційних вимірювань. При таких вимірах прилад знаходиться в точці, віддаленої від місця його випуску, і результати вимірювань повинні доставлятися на пункт

збору або передаватися по радіоканалу [6]. В процесі аерологічних вимірювань вимірювальні прилади працюють в умовах швидко мінливих температур, що призводить до помилок вимірювань, зумовлених впливом температури навколишнього середовища на параметри приладів і їх окремих вузлів. Зокрема, зміна температури атмосфери, що має місце при підйомі вимірювальних приладів на кулях-зондах, аеростатах і літаках, істотно впливає на результати вимірювання тиску за допомогою мембранних коробок, так як при зміні температури навколишнього середовища змінюється модуль пружності матеріалу коробки і укладеного в ній газу. При проведенні вимірювань на великих висотах на первинні вимірювальні перетворювачі робить істотний вплив пряма сонячна радіація, наслідком чого є поява радіаційних похибок. Істотний вплив сонячна радіація надає на первинні вимірювальні перетворювачі температури. Боротьбі з радіаційним перегрівом первинних вимірювальних перетворювачів аерологічних приладів приділяється велика увага (для цього застосовуються цілі комплекси технічних заходів) [7].

Для доставки вимірювальних приладів в точки вимірювань застосовуються спеціальні засоби: кулі-зонди, аеростати, літаки, ракети і метеорологічні супутники. Основні метеорологічні елементи вільної атмосфери (температура, вологість, тиск) зазвичай змінюються в часі і по горизонталі набагато повільніше, ніж по висоті. Тому результати вимірювань, отримані в процесі проведення вимірювань для різних висот, відносять до одного і того ж моменту часу (як правило, початку підйому) і до однієї вертикалі, що проходить над пунктом вимірювань. Для надійного вимірювання метеорологічних елементів вільної атмосфери, особливо температури і вологості, необхідна достатня вентиляція (обдування) первинних вимірювальних перетворювачів повітряним потоком. При малих швидкостях їх природного обтікання набігаючим повітряним потоком цей обдув повинен бути штучним. При великих швидкостях переміщення приладу щодо набігаючого повітряного потоку, наприклад при підйомі

вимірювальних приладів на сучасних швидкісних літаках або ракетах, приймають спеціальні заходи, наприклад, вводять відповідні поправки за рахунок динамічного нагріву чутливих елементів.

Перераховані особливості та похибки знижують точність аерологічних вимірювань. Тому необхідна розробка спеціальних методів аерологічних вимірювань і аерологічної техніки. У табл.2.1 наведені значення точностей, які необхідні при розробці нових видів аерологічної апаратури. Ці вимоги сформульовані технічними комісіями ВМО [8].

Таблиця 2.1- Вимоги до точності аерологічних вимірювань

ФІЗИЧНА ВЕЛИЧИНА	КЛІМАТОЛОГИ	СИНОПТИЧНА МЕТЕОРОЛОГІЯ
Тиск	± 2 гПа до рівня 200 гПа ± 2 % вище 200 гПа	± 1 гПа
Температура	$\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ до 200 гПа $\pm 1^{\circ}\text{C}$ вище 200 гПа	$\pm 0.5^{\circ}\text{C}$
Відносна вологість	± 5 % до 700 гПа ± 10 % вище 700 гПа	± 5 % до 1-ї тропопауза або 300 гПа, якщо вона нижче ± 10 % для більш високих рівнів
Вітер Напрямок Швидкість	$+ 10^{\circ} \pm 5$ % до 200 гПа	$\pm 5^{\circ}$ для швидкостей > 25 м / с $\pm 10^{\circ}$ для менших швидкостей
		± 1 м / с для швидкостей < 10 м / с ± 10 % для $v > 10$ м / с

2.1 Вимірювальні перетворювачі температури

Для вимірювання температури використовуються також напівпровідники. При зниженні температури опір напівпровідників зростає і при дуже низьких

температурах напівпровідники перетворюються майже в ізолятори. Навпаки, з підвищенням температури опір напівпровідників зменшується і при високих температурах властивості напівпровідників стають близькими до властивостей провідників. Таким чином, на відміну від провідників, що володіють позитивними температурними коефіцієнтами опору, у напівпровідників вони негативні. Оскільки значення α_m у напівпровідників по абсолютній величині приблизно в 10 разів більше, ніж у провідників, чутливість напівпровідникових термометрів опору, як правило, значно вище чутливості металевих термометрів опору. Напівпровідниками є, наприклад, суміші двох або більше оксидів металів (урану, магнію, титану, нікелю, кобальту і ін.). Змінюючи співвідношення між різними складовими в суміші, отримують бажаний характер залежності опору напівпровідника від температури. В процесі виготовлення оксиди металів домішують у вигляді порошку до зв'язує речовин, потім їм надають форму циліндрів, намистин або пластинок і обпалюють. Таким чином виготовляються серійні датчики температури - терморезистори, що володіють заданими Термометрична властивостями. Залежність опору напівпровідників від температури коливається в широких межах, у одних напівпровідників ця залежність практично незначна, тому їх застосовують в якості постійних або еталонних опорів [8]. В інших напівпровідників опір залежить від температури в значно більшою мірою, ніж у металів, тому їх використовують в якості термодатчиків. Розрізняють напівпровідникові термістори, у яких $\alpha_m < 0$, і позистора, у яких величина α може бути як позитивною, так і негативною. Залежність опору термісторів від температури прийнято виражати за допомогою рівняння

$$R = A_{\text{exp}}, \quad (2.1)$$

де A і B - постійні даного термістора. Значення температурного коефіцієнт опору (ТКС) термістора може бути знайдено з (2.1)

$$\alpha_m = \frac{1}{R} \frac{dR}{dT} = - \frac{B}{T^2}. \quad (2.2)$$

Так як в довідковій літературі зазвичай вказується опір напівпровідникових терморезисторів при 20 ° С (293 К) - R_{20} , то на практиці користуються співвідношенням

$$R(T) = R_{20\text{exp}} \left(-\frac{B}{T} + \frac{B}{273} \right). \quad (2.3)$$

Важливою характеристикою напівпровідникового терморезистора є коефіцієнт енергетичної чутливості (У ВАТ на відсоток зміни опору), який визначається співвідношенням

$$G = \alpha_m \frac{H}{100} \quad (2.4)$$

де H - коефіцієнт розсіювання теплової енергії на терморезистор, Вт / ° С.

У табл. 2.2 представлені основні параметри напівпровідникових терморезисторів, використовуваних для зондування атмосфери. Основними джерелами похибок вимірювання температури за допомогою напівпровідникових терморезисторів при зондуванні атмосфери є, сонячна радіація (радіаційний перегрів) і теплова інерція. Крім того, на точність вимірювання впливає і нагрів напівпровідникового терморезистора протікає через нього вимірювальним струмом [9]. У правильно сконструйованих вимірювальних схемах протікає через терморезистор вимірювальний струм досить малий і практично не викликає нагрів терморезистора. Ступінь радіаційного перегріву залежить від висоти Сонця, щільності повітря, швидкості руху датчика в атмосфері, наявності хмарності і її структури, що відбиває, хмар і підстильної поверхні, а також від конструктивних особливостей використовуваного напівпровідникового терморезистора. З метою зменшення радіаційної помилки напівпровідникові терморезистори покривають спеціальними антирадіаційними покриттями з великим

коефіцієнтом відбиття сонячної радіації. Проте, величина радіаційної похибки при вимірюванні температури досить значно збільшується з висотою підйому і висотою Сонця.

Таблиця 2.2 - Основні параметри напівпровідникових терморезисторів, використовуваних при зондуванні атмосфери

Тип	R_{20} , кОм	B	α_r , %/°C при 20° C	діапазон робочих температур °C	H , мВт/°C	G, мВт	Постійні часу при обтіканні з різними швидкостями (м/с и 4 м/с)	Длина, мм — Диаметр, мм
ММТ-1	6.8; 8.2	2500–2400	2.4–2.8	–90...+125	1.6	0.6	35 / 6.5	10–13
ММТ-6	10–100	2060	2.4	–60... +125	1.7	0.3	35 / 2.2	1.8–2.2 5–6
СТЗ-18	3.3	2250–3520	2.6–4.1	–90... +125	0.18	0.05	1.0 / 0.28	0.7–0.8 0.48
СТЗ-25	3.3	2600–3200	3.75	–100...+125	0.08	0.02	0.4 / 0.11	0.34 0.27 0.17

Останнім часом з'явилися особливо чисті напівпровідникові матеріали - германій і кремній, які представляють особливий інтерес при створенні терморезисторів. Метричні властивості таких напівпровідників різняться в залежності від їх кристалічної структури, яка визначається за цією технологією кристалізації. Як терморезистори, вони можуть мати або позитивний, або негативний ТКС, що визначається способом створення кристала і особливостей легування домішками. Термосопротивлення з чистих напівпровідникових матеріалів мають ТКС того ж порядку, що і ТКС у металів. Однак вони мають дуже високим питомим опором, тому їх можна робити мікроскопічними. Такі мікросопротивлення малоїнерційні, високостабільного, а термін їх використання практично необмежений [10].

Датчиком температури є напівпровідниковий терморезистор ММТ-1. Статистичні характеристики перетворювача (СХП) являють залежність вихідного інформаційного параметра (Опір R) від вхідного інформаційного параметра (температури T) при нормальних умовах. СХП датчиків

температури радіозондов отримують шляхом емпіричної градування датчиків на заводі за допомогою спеціального термостата. СХП датчиків температури радіозондов МРЗ, МАРЗ представляються в аналітичному вигляді. Відомий ряд функцій, що апроксимують температурну залежність опору напівпровідникових, напівкристалічних терморезисторів, представлених в табл. 2.3.

У роботах по дослідженню напівпровідникових терморезисторів показано, що функції формул 1, 4, 6 в табл. 2.1 мають незадовільну похибка апроксимації. Середньоквадратичне похибка δ дорівнює для $\delta_1 = 0,1336\text{K}$, $\delta_4 = 1,552\text{K}$, $\delta_6 = 3,919\text{K}$.

Таблиця 2.3- Функції

№	пряма функція	зворотна функція
1	$R = A \exp(B/T)$	$T = B / \ln R / A$
2	$R = F \cdot T^c \exp(B/T)$	—
3	$R = A \exp(B/T + C)$	$T = (B / \ln B / A) - C$
4	$R = A \exp(A \cdot T + B/T)$	$T = \ln R - \sqrt{(\ln^2 R - 4AB) / 2A}$
5	$R = \exp^3 \sqrt{-1/2C(A-1/T)} + \sqrt[3]{(B/3C)^3 + [1/2C(A-1/T)]^2}$	$T = 1/A + B \ln R + C \ln^3 R$
6	$R = A/(T+C) - B$	$T = A/(B+R) - C$
7	$R = A \exp(B/T + C/T^2)$	$T = B + \sqrt{(B^2 + 4C \ln B / A) / 2 \ln R / A}$
8	$R = A \exp(B/T - C \cdot T)$	$T = -\ln R / A + \sqrt{(\ln^2 R / A - 4BC) / 2}$

Як СХП датчиків температури радіозондов МРЗ-3А, МАРЗ-2 використовується формула (3) табл. 2.3 $\delta_3 = 0,084\text{K}$. Таким чином, статистична характеристика датчика температури представлена у вигляді

$$R = A_{\text{exp}} (B/T+C) \quad (2.5)$$

Параметри А, В, С визначаються для конкретних датчиків температури в результаті Градування. Коефіцієнт А визначає місце розташування СХП в

системі координат (T, R). Коефіцієнт В визначає чутливість терморезистора, коефіцієнт В визначає ступінь нелінійності СХП. Мінімальну трудомісткість градуювання забезпечує метод обраних точок, при якому кількість точок градуювання має дорівнювати кількості параметрів СХП датчика (базові точки або вузли інтерполяції) [11]. При відомих координатах СХП датчика температури в трьох точках (T_1, R_1) , (T_2, R_2) , (T_3, R_3) параметри А, В, С можна знайти з системи рівнянь:

$$\begin{aligned} R_1 &= A_{\text{exp}} B / (T_1 + C) \\ R_2 &= A_{\text{exp}} B / (T_2 + C) \\ R_3 &= A_{\text{exp}} B / (T_3 + C) \end{aligned} \quad (2.6)$$

Рішення рівняння (2.6) має вигляд

$$\begin{aligned} C &= (mT_2 - nT_3) / (n - m) \\ B &= I_n K_1 / K_2 / (1/T_1 + C - 1/T_2 + C) \\ A &= K_{\text{exp}} (-B / T_1 + C) \end{aligned} \quad (2.7)$$

$$\begin{aligned} \text{де } m &= R_2 / (T_2 - T_3) \\ n &= I_n (R_3 / R_1) (1 - T_2 / T_3) \end{aligned} \quad (2.8)$$

Після знаходження А, В, С визначається температура: де t_1 - значення температури, °C.

$$t_1 = [(B / I_n (R_1 / A))] - (C + 273.15) \quad (2.9)$$

Похибка апроксимації уздовж температурної шкали не залишається постійною. Обрані точки $(-65^\circ \text{C}, -15^\circ \text{C}, +35^\circ \text{C})$, в яких середньоквадратичне відхилення має мінімум. параметри СХП датчиків температури обчислюються з похибкою $\Delta A = 1 \cdot 10^{-5} \text{ Ом}$, $\Delta B = 0,1 \text{ К}$, $\Delta C = 0,01 \text{ К}$. В цьому випадку точність обчислення параметрів А, В, С не перевищує $0,01^\circ \text{C}$. Діапазон зміни опору індивідуальних СХП датчика температури $R_{+50} \geq 3 \text{ кОм}$, $R_{-80^\circ \text{C}} \leq 570 \text{ кОм}$. Розрахунок значень $\sim 80^\circ \text{C}$ температури $t^\circ \text{C}$ проводиться за середнім значенням періодів за каналний інтервал за формулою:

$$t = B / I_n [\bar{Q}_r * R_{01} / \bar{Q}_{cn} - R_{02} / A] - C - 273,15. \quad (2.10)$$

де Q_{01} , Q_t - середнє за каналний інтервал значень періодів повторення опорної, температурної частоти;

R_{01} , R_{02} - паспортні дані радіозонда відповідно до етикеткою температури радіоблоків [11] .

Останнім часом в якості датчиків вологості в радіозондах СРСР, Англії, Франції та інших країн все частіше застосовують органічні гігроскопічні плівки у вигляді парфумерної лайки, виготовленої з серозних оболонок посліду або сліпої кишки великої рогатої худоби . Особливість конструкцій таких датчиків можна проілюструвати на прикладі датчика вологості радіозондов А-22-III (IV) і РКЗ-1А. У радіозонда А-22-III (IV) в якості чутливого елемента вологості вперше замість волосся застосована тваринна плівка, виконана у вигляді круглої мембрани, наклеєною на кільце . Кільце закріплено на жорсткому каркасі. Центр мембрани за допомогою гнучкої тяги пов'язаний з важелем і стрілкою, яка закріплена на тонкій пружинній стрічці, натягнутій між стінками каркаса. Пружинна стрічка підтримує центр мембрани в постійно натягнутому стані. При зміні вологості змінюється прогин мембрани [12]. Переміщення її центру перетвориться за допомогою гнучкої тяги і важеля в поворот стрілки. Порівняльні випробування показали перевагу приймачів вологості з тваринної плівки. Це перевага полягає: у високій чутливості до вологості ($\lambda = 3,5\%$ відносної деформації /% відносної вологості) і в хорошій вологості характеристиці $\delta = f(U)$ (δ – відносна деформація, U - відносна вологість). В інтервалі вологості від 100 до 30% незначна зміна U веде до значної деформації тваринної плівки. Тваринна плівка має невеликий температурний коефіцієнт $\alpha^0 \text{ } ^\circ\text{C}^{-1} \cdot 10^5$ за рахунок невеликої довжини утворює конуса мембрани (близько 9 мм). Приймач вологості з тваринної плівки має цілком задовільними механічними властивостями. Слід зазначити, що мембрана приймача вологості радіозонда А-22-III (IV) має форму неправильного усіченого конуса. Причина освіти

соска полягає в наявності напружень біля жорсткого центру мембрани, більш значних за величиною, ніж напруги по її краях. Така форма мембрани забезпечує 'при високих вогкості випрямлення логарифмічною характеристики зміни стріли прогину зі зростанням вологості. При підвищенні вологості мембрана приймає форму, ближчу до правильного усеченому конусу, за рахунок чого відбувається деяке додавання до зміни стріли прогину. Випробування на Ризькому заводі ГМП показали, що найкращою прямолінійною характеристикою і найменшим гистерезисом володіє масований приймач початковим прогином 8 мм і діаметром 45 мм. Коефіцієнт інерції такого приймача приблизно в 5 разів менше, ніж для волоса. Для вимірювання вологості в радіозонда РКЗ-1А використовується комбінований датчик, в якому вологість перетворюється в електричний сигнал шляхом двократного перетворення (рис. 2.1). Елементом датчика, які здійснюють першу перетворення вимірюваного параметра в механічне переміщення, є мембрана з тваринної плівки, аналогічна датчику радіозонда А-22-III (IV) [12]. Друге перетворення (механічне переміщення рухомого центру мембрани в електричну напругу) здійснюється за допомогою потенціометра. При постійній щільності намотування потенціометра все вторинні перетворення мають майже лінійний характер. Подібні датчики відомі під назвою мембранно-реостатних.

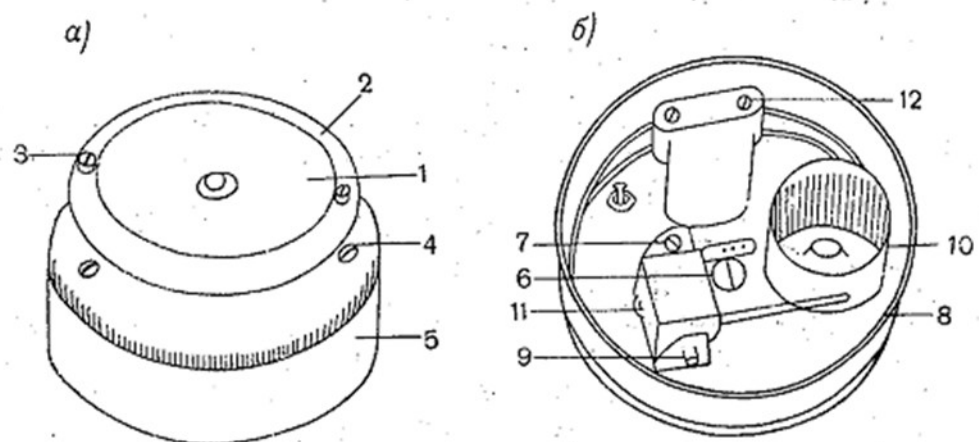


Рисунок 2.1-Датчик вологості

1 плівкова мембрана; 2 оправа мембрани; 3і4- гвинти; 5і8 - корпус датчика; 6 отвір в корпусі; 7- кріпильний гвинт; 9- вісь потенціометра; 10 потенціометр ; 11- скоба потенціометра; 12- клемма

Останнім часом з'явилися відомості про датчиках вологості для радіозондов, виконаних з неорганічних матеріалів: вугільних (застосовується в США) і напівпровідникових. Однак поширення вони що не отримали. Тому конструкції датчиків вологості сучасних серійних радіозондов практично обмежуються розглянутими типами. У спеціалізованих радіозондах тип датчика визначається призначенням радіозонда і способом телепередачі. Так, наприклад, в радіозондах-облакомерах в якості вимірювального датчика використовуються фотоелементи, що реагують на розсіювання світлового променя лампочки розжарювання частинками хмари [13].

Датчиком вологості служить мембрана тваринної або синтетичної плівки товщиною в середньому 20 км. Збільшення поверхневих сил обумовлено зменшенням радіусу кривизни менісків води. Недолік - розкид опору датчика вологості за рахунок зраді ня ступеня кривизни і зміни характеристик перетворення. Визначення вологості проводиться з використанням рівняння апроксимації :

$$U = K + NR_u + M R_u$$

$$Ru = (-N - \sqrt{N^2 - 4M(K-U)}) / 2M \quad (2.11)$$

де K, N, M - коефіцієнти апроксимації, R_u - величина опору датчика вологості, $R_0 \geq 2$ кОм при вологості 100%, $R_u \leq 15$ кОм при вологості 10%.

Випадкова середня квадратична похибка в діапазоні температур від + 20 ° С до -20 ° С мало залежить від температури і складає 4%. При температурі - 50 ° С вона збільшується до 11% і в середньому становить 6%. Розрахунок значень вологості проводиться за середнім значенням періодів за каналний інтервал за формулою:

$$U=K+N(\bar{Q}_u * R_{01}/\bar{Q}_{01}-R_{02}) + M(\bar{Q} * R_{01}/\bar{Q}_{02}-R_{02})^2 \quad (2.12)$$

де $\bar{Q}_{01}$, $\bar{Q}_u$ - середні за каналний інтервал значення періодів повторення опорної і вологості частоти, R_{01} , R_{02} , K , N , M - паспортні дані радіозонда відповідно до етикеткою датчика вологості радіоблоків.

Поряд з деформаційним датчиком вологості розроблений і використовується аерологічної перетворювач вологості АПВ. Принцип дії інтегрального чутливого елемента заснований на зміні електрофізичних параметрів (провідності, діелектричної проникності) вологочутливості плівки при оборотної (Фізичної) сорбції парів води з навколишнього середовища. На (рис.2.2) представлені чутливі елементи датчиків вологості. Елементи датчика вологості виготовляються, як правило, на діелектричній підкладці (ситалл або поликор). Електроди виконані з нікелю, золота або платини товщиною 0,2 - 0,3 мкм. електроди покриті шаром сорбенту. У комбінованій структурі на поверхні діелектричної підкладки розміщені два електроди, розділені тонким (10-40 мкм) зазором [14].

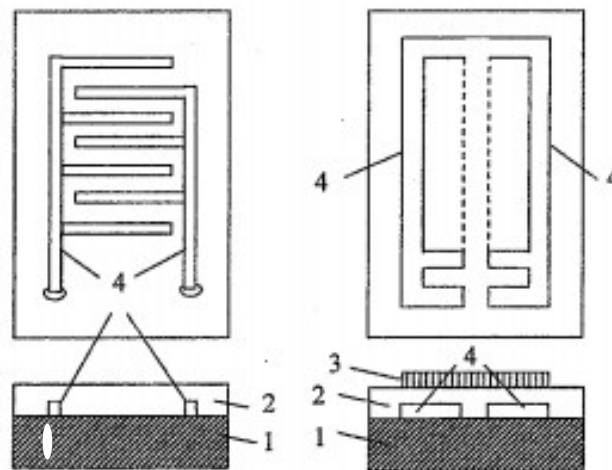


Рисунок 2.2 - Чутливі елементи датчика вологості

1-підкладка; 2- шар сорбенту; 3- вологонепроникний шар захисту;
4 електрони

Поверх електродів розташовується шар сорбенту, на поверхню якого напильється тонкий вологонепроникний шар золота. У найпростішому вигляді

еквівалентна схема такого елемента представляє собою дві послідовно (через невеликий опір) з'єднані ємності. Такі датчики є найбільш простими в технології виготовлення. Однак мають незначну ефективної ємністю. Поріг чутливості, точність, діапазон вимірювань, постійна часу таких датчиків в основному визначається фізико-хімічними і, перш за все, адсорбційними властивостями застосовуваного сорбенту і технологією формування плівки сорбенту. Ємність аерологічної перетворення вологості (АПВ) 100- 150 пФ, постійна часу - 15 с, розмір підкладки - 7,5-5,0 мм.

3 СИСТЕМА РАДІОЗОНДУВАННЯ АТМОСФЕРИ

3.1 Радіотелеметрія систем зондування

Дистанційне вимірювання в атмосфері метеорологічних величин за допомогою вимірювальних перетворювачів зазвичай і називають радіозондировання. Суттєвим моментом при цьому є те, що при реалізації радіозондировання атмосфери необхідно забезпечити вимірювання не тільки метеорологічних величин, але і координат вимірювального приладу в момент вимірювань. Вимірювання метеорологічних величин в атмосфері і передача результатів здійснюється за допомогою спеціального пристрою, званого радіозондом, що представляє собою сукупність відповідних первинних перетворювачів і радіопередавача. Прийом результатів вимірювань і визначення координат радіозонда в просторі проводиться спеціальними наземними радіотехнічними пристроями, як яких найбільш широко використовуються радіолокаційні станції. Таким чином, можна сказати, що радіозондування атмосфери здійснюється за допомогою спеціальних систем, забезпечують вимір, збір, перетворення, передачу на відстань по радіоканалах вимірювальної інформації, її прийом, обробку та аналіз, а також видачу отриманої метеорологічної інформації відповідним також видачу отриманої метеорологічної інформації відповідним споживачам. Такі системи отримали назву радіотелеметрических комплексів, загальна структура яких представлена на рис.3.1. При радіозондировання атмосфери повинні реалізовуватися вимірювання декількох метеорологічних величин, тому радіотелеметричні комплекси можна назвати багатоканальними [15]. Передають інформаційні підсистеми вирішують ряд найважливіших завдань, до числа яких можна віднести збір повідомлень, що надходять від первинних вимірювальних перетворювачів (ППП); перетворення сигналів в форму,

зручну для передачі по радіоканалу, управління програмою вимірювань; стиснення інформації від різних ППП в єдиний сигнал, виключаючи вплив вимірювальних сигналів один на одного; передача узагальненого вимірювального сигналу в радіолінію. Приймальні інформаційні підсистеми повинні здійснювати прийом інформаційних сигналів, які були надіслані по радіолінії з передавальної підсистеми, демодуляцію прийнятого сигналу, контроль функціонування РТК, визначення місця розташування вимірювального приладу в просторі, формування сигналу зворотного зв'язку, що надходить на передавальну інформаційну підсистему. Підсистема аналізу, відображення та зв'язку з споживачами і реалізує декодування і дешифрування сигналів, обробку, контроль і аналіз одержуваної інформації, відображення і передачу відповідної метеорологічної інформації споживачеві. Залежно від пристрою ППП, характеру одержуваної інформації, властивостей радіолінії, необхідної точності та обсягу переданої інформації застосовуються різні види модуляції вимірювальних каналів [15].

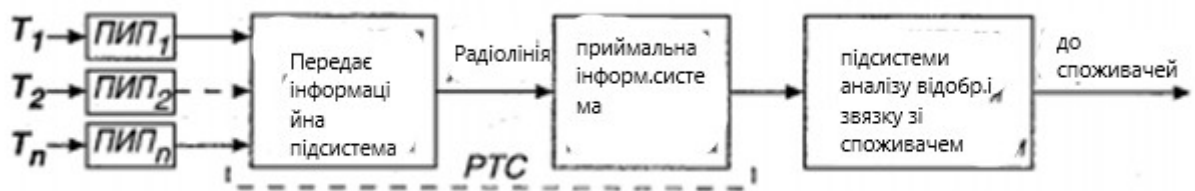


Рисунок.3.1 -. Структурна схема радіотелеметричного комплексу

Саме по способам модуляції сигналів і підрозділяються радіотелеметрические комплекси на певні види. За способом поділу вимірювальних каналів РТК можна розділити на такі види: з частотним, тимчасовим, кодовою і комбінованим поділом. У РТК з частотним поділом для кожного вимірювального каналу використовується своє високочастотне коливання певної частоти, зване піднесучих коливанням, яке модулюється вимірювальними сигналами. При передачі кілька модульованих піднесуть коливань об'єднуються в один вимірювальний канал. На приймальній стороні

поділ вимірювальних сигналів може здійснюватися методом частотної селекції модульованих піднесуть коливань спеціальними розділовими фільтрами.

Тимчасовий поділ каналів полягає в почерговому підключенні вимірювальних перетворювачів до кодує і передавального пристроїв. В результаті, в будь-який момент часу радіопередавач працює тільки з одним вимірювальним перетворювачем. За способом виконання цієї операції комплекси з тимчасовим поділом каналів можна поділити на системи з внутрішньої і зовнішньої синхронізацій. В системах з внутрішньої синхронізацією узгодження процесів на передавальній і приймальній сторонах здійснюється формуванням на обох сторонах однакових керуючих сигналів, що володіють високим ступенем стабільності в часі. В системах з зовнішньою синхронізацією такі сигнали формуються тільки на передавальній стороні і можуть передаватися на приймальню підсистему разом з вимірювальною інформацією. У РТК з кодовим поділом сигналів ознакою каналу є адресний код. У таких комплексах передане повідомлення складається з адреси каналу і власне інформаційної частини. На приймальній стороні повинен бути кодовий роздільник сигналів, в якому закладені всі адреси. Адреса прийнятого повідомлення дозволяє інформаційну частину сигналу направити до відповідного каналу обробки, аналізу і відображення інформації. Комплекси з комбінованим поділом сигналів використовують різні поєднання викладених вище способів. В процесі передачі результатів вимірювань необхідно забезпечити передачу окремих значень вимірюваних величин, виключивши можливі помилки і спотворення. Саме тому на передавальній стороні необхідно здійснити кодування вимірювальної інформації таким чином, щоб кожному окремому значенням вимірюваного параметра відповідало одне зі значень певного параметра передається сигналу (первинна модуляція) [16].

Для передачі вимірних значень метеорологічних величин за допомогою радіохвиль використовується модуляція високочастотних сигналів

передавача кодованими вимірювальними сигналами (вторинна модуляція). Модуляція може бути амплітудної (АМ), частотної (ЧМ) і фазової (ФМ). Спосіб кодування, що застосовується в радіотелеметричеський комплексі зондування атмосфери, залежить від способу поділу каналів. Так, в комплексах з тимчасовим поділом найчастіше використовують імпульсну модуляцію (імпульсне кодування поднесущая коливання) наступних видів: амплітудноімпульсна (АІМ), широтно-імпульсна (ШІМ), фазо-імпульсна (ФІМ), час-імпульсна (ВІМ) і кодо-імпульсна (КІМ). При цьому первинна модуляція може бути амплітудної, фазової або частотної (АМ, ФМ, ЧМ відповідно). У комплексах з частотним поділом каналів поднесущая коливання можна модулювати по амплітуді, частоті або фазі. При кодовому поділі каналів опитувальна частина формується шляхом модуляції сигналу, що піднесуть коливання способом кодо-імпульсної модуляції (КІМ) або імпульсно-часової модуляції (ІВМ), а інформаційна частина кодується будь-яким видом імпульсної модуляції, що піднесуть коливання (КІМ, ВІМ, ШІМ та ін.). У комплексах з комбінованим поділом використовуються імпульсні види модуляції, що піднесуть коливання і безперервні види модуляції при частотному поділі каналів [16].

У вітчизняних радіотелеметричеських комплексах зондування атмосфери найчастіше в даний час застосовується тимчасове поділ вимірювальних каналів при зовнішньої синхронізації з імпульсним кодуванням і частотної маніпуляцією поднесущая коливання або просто з імпульсною модуляцією. Основне несе коливання модулюється амплітудно-імпульсним способом.

3.2 Радіозонди типу МАРЗ

Малогабаритні радіозонди МАРЗА мають кілька різновидів, однак, як уже зазначалося вище, з РЛС «Метеорит-2» може використовуватися тільки радіозонд типу МАРЗ-2-2. Цей радіозонд виконаний на елементній базі з використанням напівпровідникових елементів і інтегральних

мікросхем. Джерелом живлення радіозонда служить Водоналивні меднохлорістомагнієвая низьковольтна малогабаритна батарея 28-МХМ-0.1, що забезпечує напруги 27 і 9,5 В. Використання стабілізаторів харчування дозволило підвищити надійність функціонування радіозонда і зменшити похибку радіотелеметричного каналу. Радіозонд має досить малі масу, габарити і споживання енергії, що робить його досить привабливим для зондування атмосфери.

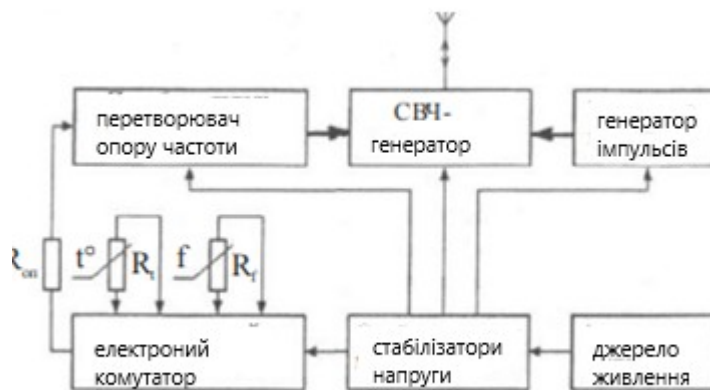


Рисунок. 3.1 - Функціональна блок-схема радіозонда типу МАРЗ

Радіозонд МАРЗ-2-2, функціональна блок-схема якого представлена на рис. 3.1, містить первинні вимірювальні перетворювачі температури і відносної вологості, електронний комутатор, перетворювач опір частота, СВЧ-автогенератор, генератор імпульсів, джерело харчування і стабілізатор напруги і струму. В якості первинного вимірювального перетворювача використовується терморезистор з антирадіаційним покриттям; для вимірювання відносної вологості служить перетворювач електромеханічного типу (тваринна плівка, прогин якої відповідає зміні електричного опору пов'язаного жорстко з ній реостата). МАРЗ-2-2 є приймач з подвійним амплітудною модуляцією, що працює в понадрегенеративному режимі приймача. Несуча частота 1782.5 мГц модулюється по амплітуді короткими імпульсами, що впливають із частотою 800кГц. Понадрегенеративний режим роботи приймача радіозонда забезпечує формування відповідного

сигналу на прийнятий запитальний імпульс РЛС [17]. Телеметрична інформація передається шляхом вторинної імпульсної модуляції. У випромінюванні електромагнітної енергії НВЧ-автогенератори радіозонда формуються перетворювачем паузи тривалістю 240 мкс, частота проходження яких залежить від електричного опору первинних вимірювальних перетворювачів температури і відносної вологості, яке, в свою чергу, визначається вихідним значенням відповідної метеорологічної величини. Частота проходження цих імпульсів може змінюватися від 50 до 1100 Гц. Для забезпечення необхідної точності вимірювань (обліку дестабілізуючих факторів) використовується опорна опір, яке забезпечує формування імпульсів в опорному каналі з номінальною частотою 1080 Гц. Передача вимірювальних сигналів температури, вологості і опорного здійснюється шляхом тимчасового поділу каналів за допомогою електронного комутатора. Цикл комутації включає в себе вимір величин опорного опору, опору датчика температури, опору датчика відносної вологості і знову опорного датчика температури. Тривалість кожного вимірювального каналу становить 20-25 с. Таким чином, при використанні радіозонда МАРЗ 2-2 про значення вимірюваних метеорологічних величин можливо судити по виміряним частотам пауз в випромінюванні СВЧ - генератора радіозонда. Однак оскільки на формування цих частот в процесі польоту радіозонда впливають багато неконтрольовані спотворюють чинники (наприклад, зменшення напруги джерела живлення), то для зменшення похибки вимірювання температури і відносної вологості зазвичай їх визначення виконується по відношенню відповідних цим метеорологічним вимірам частот до опорної частоти радіозонда. При надходженні Запитальний імпульсів від РЛС за рахунок зриву коливань генератора імпульсів формується особлива пауза (великої тривалості), яка може визначатися як відповідний сигнал радіозонда [17]. Радіозонд типу МАРЗ-2-2 володіє такими основними характеристиками:

- діапазон виміру температури повітря - від 50 до - 80 ° С;

- діапазон виміру відносної вологості повітря при температурі від +50 до -40 ° С - від 15 до 98%;
- діапазон обчислення тиску повітря - 1050 гПа;
- несуча частота радіозонда - 1782.5 МГц;
- частота генератора імпульсів - 800 кГц;
- частоти пауз вимірювальних каналів радіозонда: опорна F_{on} - 1080 Гц; сигналів температури F_T - 50 ($F_{on}-25$) Гц; сигналів відносної вологості F_u - 500 ($F_{on}-25$) Гц;
- тривалість паузи в випромінюванні генератора СВЧ – 240 мкс;
- вага спорядженого радіозонда - 430 г

Похибка радіозонда по температурі, яка характеризується середнім квадратичним відхиленням результатів вимірювань, не повинна перевищувати 0.5 ° С. Допустима похибка по відносній вологості при зміні температури навколишнього середовища від -40 до 50 ° С дорівнює 15%. При температурі нижче -40 ° С похибка по вологості не нормується. Постійні часу датчиків температури і відносної вологості в нормальних умовах при швидкості обдування 6 м / с не перевищують 10 с. Величина випромінюваної потужності (0,6 Вт) і досить висока чутливість до запитним імпульсу (менш -50 дБ) забезпечують впевнений прийом вимірювальних сигналів від радіозонда і його впевнене супровід на відстань до 300 км [18] .

Обробка сигналів радіозонда типу МАРЗ-2-2. До кожному радіозонда додаються градуювальні дані - статичні характеристики перетворення (СХП), які дозволяють перевести значення відносин частот

$$y_T = \frac{F_T}{F_{on}} \text{ и } y_u = \frac{F_u}{F_{on}}$$

в відповідні значення температури і відносної вологості:

$$T = \frac{B}{\ln \left[\left(\frac{R_{01}}{y_T} - R_{02} \right) \frac{1}{A} \right]} - C - 273,5;$$

$$u = K + N \left(\frac{R_{01}}{y_u} - R_{02} \right) 10^{-3} + M \left(\frac{R_{01}}{y_u} - R_{02} \right) 10^{-6},$$

де А, В, С, R_{01} , R_{02} , К, N, М - характеристики статичного перетворення. За виміряним кутових координатах (вертикальному і азимутальній кутах) і похилій дальності до радіозонда можна визначити його висоту в кожен момент спостережень, а також швидкість і напрямок вітру в відповідних шарах. Далі розраховуються середня температура і середня відносна вологість для відповідних верств, після чого виявляється можливим визначити середню віртуальну температуру шарів (T_v) в °С, використовуючи такі вирази:

$$\bar{T}_v = \bar{T} + (\bar{T} + 273,15) \cdot 0,379442 \frac{e}{\bar{p} - e},$$

$$e = \frac{u}{100} * 6.1 * 10^{7.5} / (273.3 + T)$$

де Т - середня температура шару,

u - середня відносна вологість шару,

e - парціальний тиск водяної пари,

p - тиск стандартної атмосфери відповідне середині шару.

Для визначення тиску повітря на стандартних висотах (p) можна використовувати барометрическую формулу виду

$$p = p_0 \exp \left[- \frac{g \Delta h}{R(\bar{T}_v + 273)} \right],$$

де R = 287,052 Дж / кг К - питома газова стала сухого повітря; g = 9,81 м / с² -- прискорення вільного падіння; p_0 - тиск на вихідному рівні; Δh - товщина шару. Зазвичай беруть шари стандартної товщини, відповідної перепаду стандартних висот. Визначити висоту стандартних изобарических поверхонь можна, використовуючи співвідношення

$$H_n = h + \frac{\bar{T}_v + 273,15}{s} \ln \frac{p_h}{p},$$

де H_n - висота стандартної ізобаричної поверхні p ;

p_h - тиск повітря на найближчій стандартній висоті h ;

s - константа, рівна 0,0341677. Знаючи висоти стандартних ізобарических поверхонь, можна визначити значення температури і відносної вологості повітря на них. Для стандартних ізобарических поверхонь слід обчислити дефіцит точки роси (D) наступним чином:

$$\begin{aligned} T_d &= T - D, \\ D &= T - \alpha \frac{A^*}{B^*}, \\ \text{где } A^* &= \beta T + \gamma(\alpha + T) \lg\left(\frac{e}{100}\right), \quad B^* = \alpha T - \gamma(\alpha + T) \lg\left(\frac{e}{100}\right); \end{aligned}$$

$\alpha = 241,9$; $\beta = 7,6326$; $\gamma = 0,43429$; T_d - температура точки роси.

Потім отримані дані готують до передачі, закодований їх з допомогою відповідних кодів (КН-03, КН-04) [18].

3.3 Радіозонд типу МРЗ

Для роботи з АВК-1 використовуються радіозонди типу МРЗ:

МРЗ-ЗА і МРЗ-ЗАМ; в зондах МРЗ-ЗАМ використовується на відміну від зонда МРЗ-ЗА модернізований первинний вимірювальний перетворювач відносної вологості, що дозволяє проводити відповідні вимірювання в більшому діапазоні і з більш високою точністю. Радіозонди МРЗ відрізняються від радіозондов МРЗ – ЗАМ способом модуляції несучої частоти (в цих радіозондах застосована частотна модуляція), а також

тривалістю каналних інтервалів в роботі електронного комутатора (5.5 с). Функціональна схема радіозонда МРЗ-ЗАМ показана на рис.3.1 . Як видно з рис. 3.1 радіозонд містить СВЧ автогенератор, який поєднує функції генератора, високочутливого приймача запитних імпульсів від АВК-1 та активного відповідача по каналу дальності; генератор імпульсів, що виробляє прямокутні імпульси з частотою слідування 800 або 600 кГц, що забезпечують роботу СВЧ-АГ в режимі понадрегенерації; первинні вимірювальні перетворювачі температури (терморезистор ММТ-6) і відносної вологості (оксид алюмінію або традиційна тваринна плівка з перетворювачем механічних деформацій в електричний опір); електронний комутатор (ЕК), забезпечуючих почергове підключення метеорологічних датчиків до вимірювального перетворювача (ВП), який виконує перетворення електричного опору датчиків в період слідування температури (T_T) або відносної суттєво різні за довжиною сигнали від метеорологічних датчиків, що використовуються; батарею живлення 28-МХМ-01 зі стабілізаторами напруги і струму (СНіС). Принцип дії радіозонда типу МРЗ полягає у використанні частотно-маніпульованної модуляції (замість амплітудної модуляції у радіозондів Марза) частоти 800 або 600 кГц. Інформація про значеннях температури і відносної вологості міститься в параметрах радіотелеметричного сигналу, що представляє із себе послідовність імпульсів, наступних з частотою суперізації (800 або 600 кГц) і мають в якості частоти заповнення несучу частоту передавача радіозонда. послідовність суперіруючих імпульсів є частотно-маніпулювати сигналом, частота проходження якого може мати два значення, що відрізняються на частоту девіації (± 7 кГц). Девіація частоти слідування суперіруючих імпульсів знаходиться в межах $11 + 17$ кГц при відхиленнях від номінальних значень (800 або 600 кГц) не більше ніж 5-25 кГц. Ці зміни визначаються впливом послідовності модулюючих видеоімпульсов, період повторення яких є параметром, в значеннях якого закодована інформація про вимірювальні метеорологічних величинах [19].

Дійсно, сигнали з вимірювального перетворювача подаються на формувач імпульсів, де вони подовжуються з метою підвищення завадостійкості вимірювального каналу системи радіозондирования АВК-1 - МРЗ. Пристрій для формування виробляє імпульси істотно різної тривалості для датчиків температури і відносної вологості. команду на перехід від формування імпульсів однієї тривалості до іншій подає електронний комутатор в момент перемикання первинних вимірювальних перетворювачів. Таким чином, в залежності від того, який метеорологічний датчик виявляється підключеним до вимірювального перетворювача, імпульси на виході формувача мають ту чи іншу тривалість, причому різниця в їх тривалості для конкретного радіозонда становить не менше 180 мкс. Завдяки цьому АВК-1 впевнено розділяє сигнали датчика температури від датчика відносної вологості.

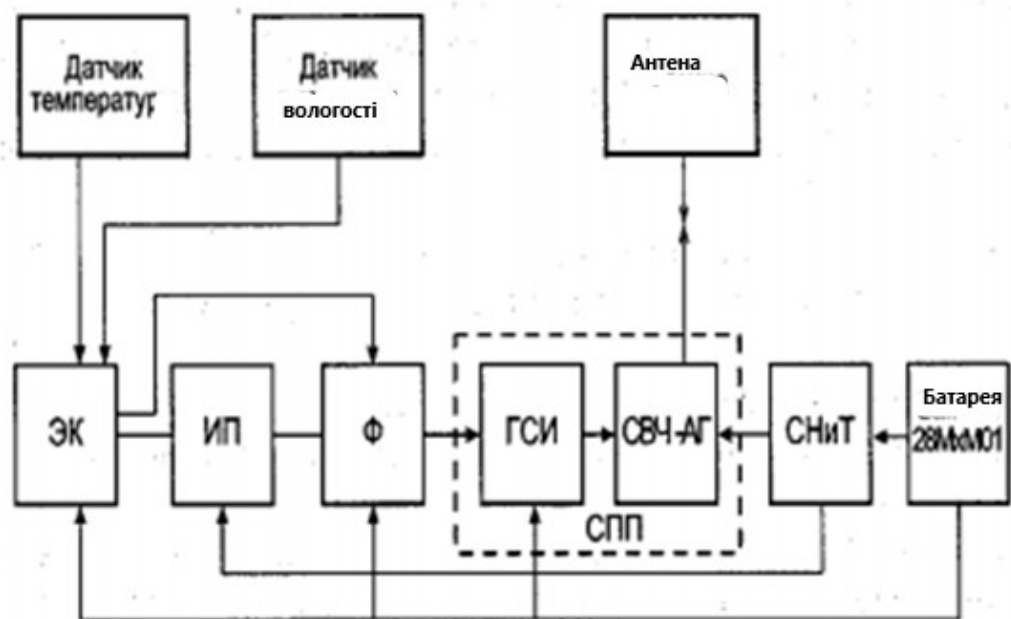


Рисунок 3.1 - Функціональна схема радіозонда типу МРЗ

У радіозондах типу МРЗ так само, як і в радіозондах МАРЗ використовується опорна опір (R_{on}) для врахування впливу дестабілізуючих факторів в роботі радіозонда. Цикл комутації теж є аналогічним радіозонда типу МАРЗ: R_{on}, R_T, R_u, R_T .

Діапазон зміни періоду проходження імпульсів вимірювального перетворювача для радіозондов МРЗ наступний:

в каналі вимірювання температури

при $R_T = 3 \cdot 10^{-1}$ ТОВ кОм (1562+5882) мкс;

в каналі вимірювання відносної вологості

при $R_u = 1.5 + 1.5$ кОм (1526+2564) мкс.

У той же час діапазон зміни тривалості імпульсів на виході формувача складає:

в каналі опорного опору (200 + 350) мкс;

в каналах метеорологічних величин (435 + 765) мкс.

Передавач радіозонда МРЗ виробляє відповідний сигнал на запитальний імпульс АВК-1. Відповідь складається з первинної та вторинної реакції на запитальний сигнал і являє собою послідовність з двох імпульсів, з яких перший збільшений, а другий - зменшений за тривалістю щодо всіх інших імпульсів ГСП. Інакше кажучи, при приході сигналу запиту відбувається розширення імпульсу суперного шуму (ШІМ) без зміни його амплітуди і слідом за цим - звуження наступного імпульсу або повне його зникнення, тобто утворюється пауза (досить великої тривалості) в випромінюванні передавача СВЧ-радіозонда [20] .

Можна вказати наступні основні характеристики радіозондов типу МРЗ:

- діапазон виміру температури (- 80 ... +50) ° С;

- діапазон виміру відносної вологості:

зонда МРЗ-ЗА (15 ... 100)%;

зонда МРЗ-ЗАМ (10 ... 100)%;

- межі допустимої основної похибки каналу вологості:

зонда МРЗ-ЗА не більше 10%;

зонда МРЗ-ЗАМ не більше 7%;

- несуща частота..... 1782 мГц;

- частота проходження імпульсів ГОІ 800 або 600 кГц;

- споживані струми радіозондом (20 .. 50) мА;
- час безперервної роботи зонда не менше 2 год;
- маса; не більше 0.36 кг.

Комп'ютер станції АВК-1 по величинам відносини відповідних частот до опорній частоті розраховує значення температури і відносної вологості повітря.

Слід зауважити при цьому, що перехід від числа імпульсів в одиницю часу (частоти імпульсів) до періоду їх слідування при вимірюванні метеорологічних величин в РТК ЗА є одним з найважливіших відмінностей радіозондов МРЗ від зондів МАРЗ, що дозволяє підвищити ефективність вимірювання метеорологічних величин.

3.4 Розрахунок та аналіз характеристик перетворювача метеорологічних величин радіозондов

% Перетворювач температура-опір на основі датчика температури

% ММТ-1, терморезистор

% Вихідні коефіцієнти апроксимації характеристики терморезистора

A = 0.07766; B = 4629.3; C = 97.46;

% Залежність опору від температури для терморезистора ММТ-1

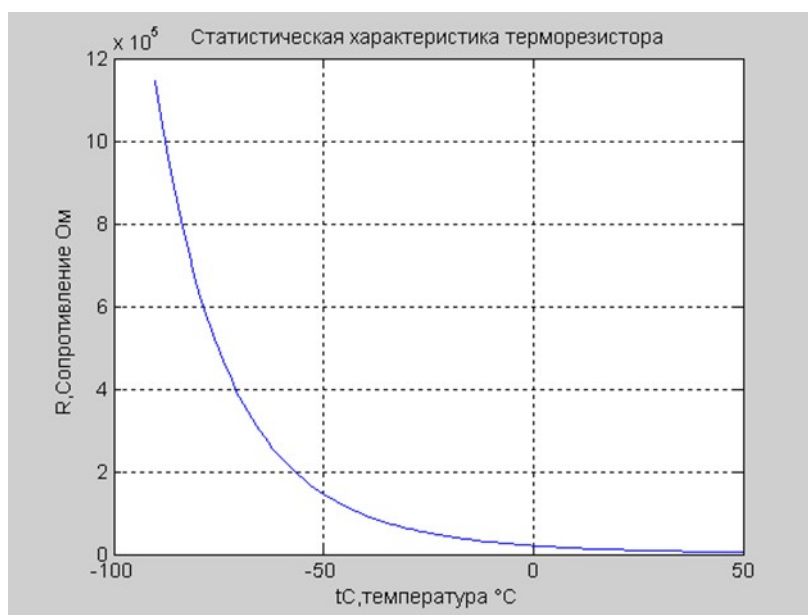
% визначається співвідношенням $tC = -90: 50$;

*% Задаємо масив значень зміни температури в Целься $^{\circ}C$ $R = A * \exp(B ./ (tC + 273 + C))$;*

%% Встановлюємо тип шрифту, який підтримує кирилицю на написах графіка

% set(gca,'FontName','Arial Cyr','FontSize',10) figure, plot(tC,R), grid on, set(gca,'FontName','Arial Cyr','FontSize',10) , title(' Статистична характеристика терморезистора '),

xlabel('tC, температура $^{\circ}C$ '), ylabel('R, Опором Ом '),



% Перетворювач опір-частота побудований на основі RC-генератора, де частота визначається

% $F = k / C * R$, k -коефіцієнт, який визначається схемотехнічними параметрами генератора і

% Знаходиться в діапазоні від 0.2 до 0.3, для генератора на логічних елементах TTL.

% У процесі польоту радіозонда на частоту F можуть впливати B

% Процесі польоту радіозонда на частоту F можуть впливати багато

% Неконтрольовані спотворюють чинники, наприклад, зменшення ЕРС джерела

% харчування. Тому для зменшення похибки, визначення температури і

% Відносної вологості проводиться не за значенням частоти $F(t)$ або $F(u)$,

% Випромінюваної при підключенні до перетворювача відповідних опорів,

% А по відношенню цих частот до опорній частоті F_{on} . то ставлення як

% Параметр $Y = F(t) / F_{on}$, де F_{on} - опорна частота і $F(t)$ - частота перетворювача температура-частота, t -температури в Цельсіях.

% Відповідно до пропорцією $F(t) / F_{on} = R_{op} / (R(t) + R_{op})$ визначаємо залежність частоти телеметрії

% Температури від зміни температури.

% Частота сигналу телеметрії радіозонда каналу температури визначається

$$F(t) = F_{op} * R_{op} / (R_{op} + R(t))$$

% Для радіозонда МАРЗ-2 на підставі технічних характеристик вводимо % значення:

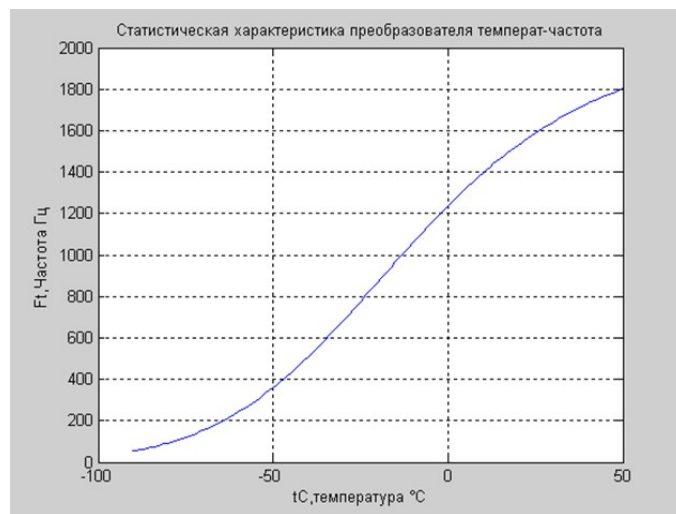
$$F_{op} = 2080; \% \text{ Опорна частота, Гц}$$

$$R_{op} = 30480; \% \text{ Опорна опір, Ом}$$

$F_t = F_{op} * R_{op} ./ (R_{op} + R); \% \text{ Частота сигналу телеметрії радіозонда каналу температури}$

`figure, plot (tC, Ft), grid on, title ('Статистична характеристика перетворювача температ-частота'),`

`xlabel ('tC, температура ° C'), ylabel ('Ft, Частота Гц'),`



% ===== ОБРОБКА СИГНАЛУ телеметрії радіозонда В РЛС "МЕТЕОРИТ" =====

% Для отримання значення температури вільної атмосфери на заданій висоті

% Використовують проміжну функцію Y, як відношення частоти каналу

% Температури і опорної частоти $Y_t = F(t) / F_{op}$, для кожного значення висоти.

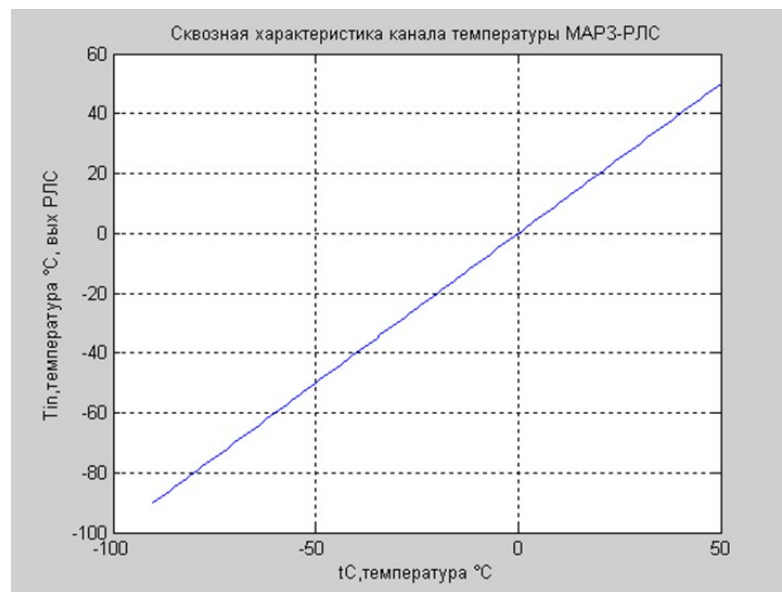
$$Y_t = F_t / F_{op};$$

% Наскрізна характеристика каналу температури тракту "радіозонда Марза - РЛС" Метеорит ""

Tin = (B./log (((Rop./Yt)-Rop)/A))-C-273;% Обробка сигналів радіозонда обчислювачем РЛС

figure, plot (tC, Tin), grid on, title ('Наскрізна характеристика каналу температури Марза-РЛС'),

xlabel ('tC, температура ° C'), ylabel ('Tin, температура ° C, вих РЛС'),



% Індекс значення температури +50 і -80 градусів ° C

ft_50 = find (tC == 50); % Визначення індексів при яких значення температури = +50 градусів ° C

ft_80 = find (tC == - 80); % Визначення індексів при яких значення температури = -80 градусів ° C

disp (['Технич характеристики Марза-3, Значення частоти сигналу телеметрії каналу температури + 50 ° C від 2060 Гц температури -80 ° C до 50 Гц']);

Розраховані значення частоти сигналу каналу телеметрії, температури + 50 ° C - 1802Гц температури -80 ° C - 93Гц

% === статичної характеристики ПЕРЕТВОРЮВАЧА ВІДНОСНА ВЛАЖНОСТЬ-ЧАСТОТА =====

% Перетворювач ВЛАЖНОСТЬ -Опір на основі датчика ВЛАЖНОСТЬ.

% НА ОСНОВІ мембрани з тварин ПЛІВКИ і реостата переміщення мембрани.

% Вихідні коефіцієнти апраксимації характеристики датчика вологості.

$K = 106.7; N = -4.3; M = -0.21;$

% Залежність сопроотивления від температури для датчика вологості

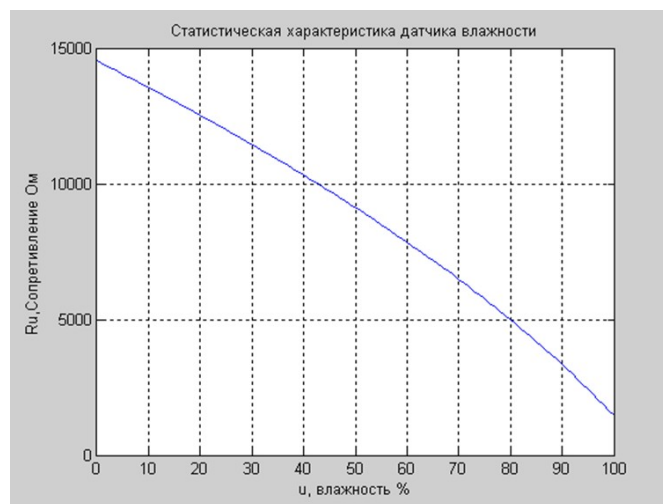
% Визначається співвідношенням $u = 0: 100;$

% Задаємо масив значень зміни відносної вологості в процентах

*$Ru = (- N - \text{sqrt}(N^2 - 4 * M * (K - u))) * 1000 ./ (2 * M);$ % Опір датчика вологості*

figure, plot (u, Ru), grid on, title ('Статистична характеристика датчика вологості'),

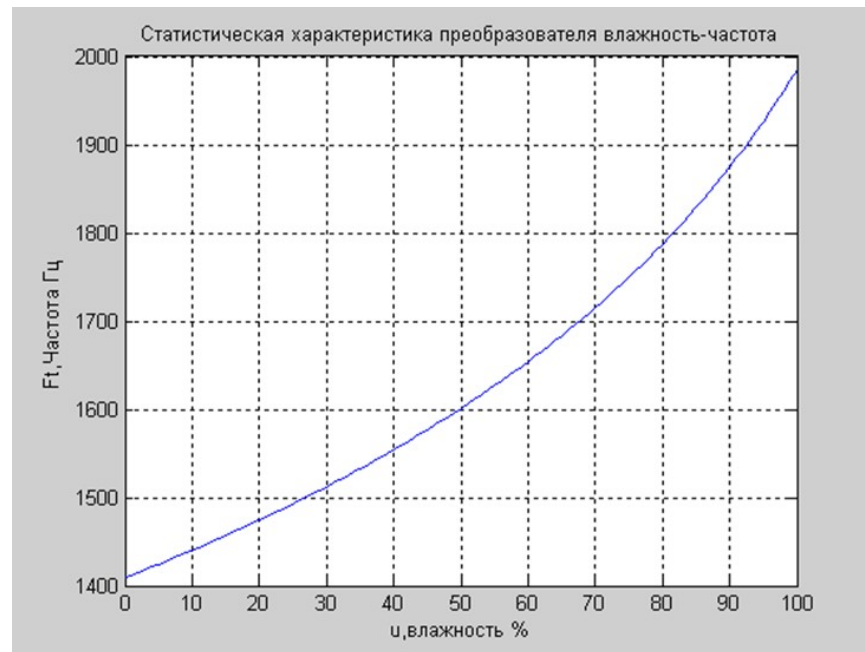
xlabel ('u, вологість %'), ylabel ('Ru, Сопроотивление Ом'),



*$Fu = For * Rop ./ (Rop + Ru);$ % Частота сигналу телеметрії радіозонда каналу вологості*

figure, plot (u, Fu), grid on, title ('Статистична характеристика перетворювача вологість-частота'),

xlabel ('u, вологість %'), ylabel ('Ft, Частота Гц'),



```
% Индекс значения влажности 5% и 98% відсотки fu_5 = find (u == 5);
% Визначення індексів при яких значення влажности = 5% відсотки
fu_98 = find (u == 98);
% Визначення індексів при яких значення влажности = 86% відсотки
disp (['Технічні характеристики МАРЗ-3, Значення частоти сигналу
телеметрії каналу влажности 5% від 1400 Гц влажности 98% до 2060 Гц']);
Розраховані значення частоти сигналу телеметрії каналу влажности 5% -
1424Гц влажности 98% - 1961Гц.
```

4 РОЗРОБКА І СХЕМОТЕХНОЛОГІЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ВУЗЛІВ РАДІОЗОНДА, З ВИКОРИСТАННЯМ ПРОГРАМНОГО ПРОДУКТУ ELECTRONICS WORKBENCH

Аналогові компаратори призначені для порівняння двох аналогових сигналів між собою або одного вхідного аналогового сигналу з заданим еталонним рівнем. Функціональне призначення компараторів полягає в зміні стану виходу при переході вхідної напруги деякого порогового значення. Компаратори представляють собою спеціалізовані ОУ з диференціальним входом і високим коефіцієнтом посилення і швидкодією без зворотного зв'язку. Зазвичай вони виготовляються у вигляді інтегральних схем. На входи компаратора надходять аналогові сигнали, а з виходу знімаються напруга $+E_n$ або $-E_n$, тобто знімається "0" або "1". Основними параметрами компаратора є: чутливість, швидкодія і здатність навантаження. Компаратори бувають однопорогові і двухпорогові [21]. На рис. 4.1 представлена схема однопорогового компаратора і його передавальна характеристика.

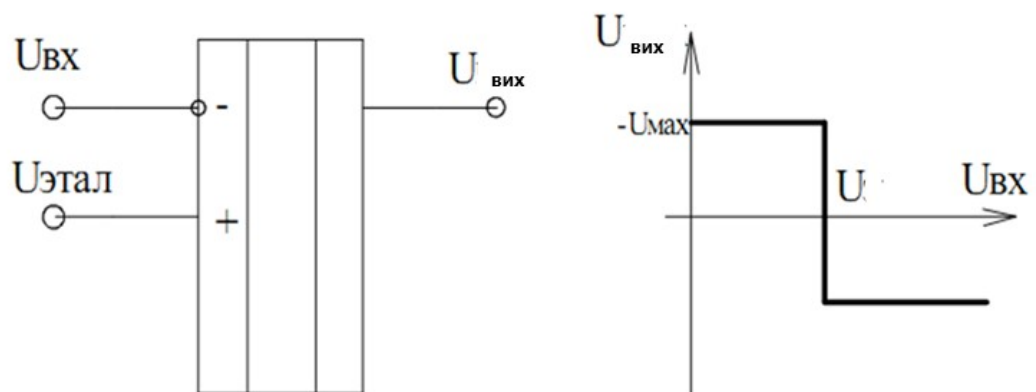


Рисунок 4.1 - Однопороговий компаратор і його передавальна характеристика

. Використання різних входів ОУ для подачі вхідного сигналу дозволяє реалізувати фіксацію рівня вхідного сигналу позитивним або негативним переходом напруги на виході компаратора. Компаратор є детектором позитивного і негативного рівня вхідного напруги. Граничний рівень вхідної напруги задається напругою зміщення $\epsilon_{\text{ет}}$, що подається на інвертується вхід ОП. Компаратор рис 4.1 дозволяє фіксувати вхідна напруга в певному діапазоні значень. Якщо вхідна напруга змінюється в межах порогового значення $U_{\text{вх}} < \epsilon_{\text{ет}}$, що встановлюються зовнішніми елементами схеми, то вихідна напруга має низький рівень. При виході за межі встановлених значень $U_{\text{вх}} > \epsilon_{\text{ет}}$ вихідна напруга переходить на високий рівень. При роботі з компараторами можуть виникнути неприємності, притаманні в тому, що замість одноразового зміни рівня вихідної напруги при досягненні вхідною напругою порогового значення можуть мати місце швидкі коливання між рівнями вихідної напруги, особливо в тому випадку, коли у вхідному сигналі присутній значний шум рис.4.2 . При цьому явищі може порушуватися нормальне функціонування деяких наступних пристроїв, наприклад лічильником імпульсів. Можна уникнути цього, якщо характеристика компаратора має гістерезис. Гістерезисом називається відмінність в відповідній реакції схеми під впливом вхідного напруги [21].

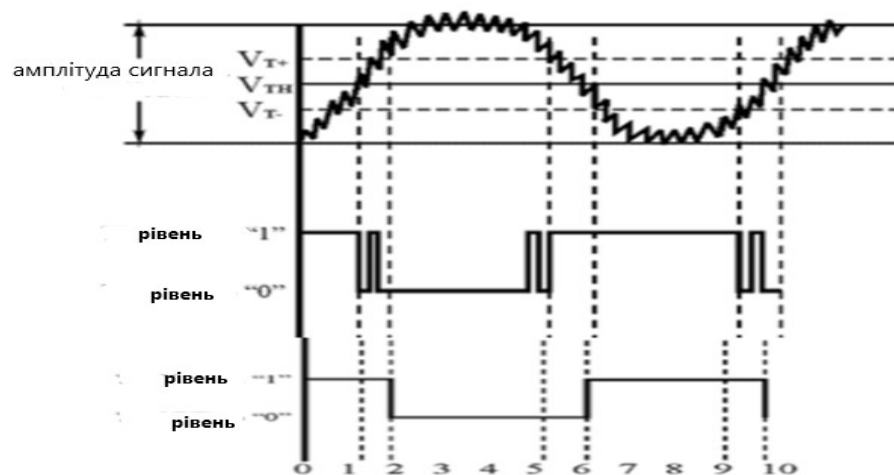


Рисунок 4.2 - Тимчасова діаграма роботи однопорогового і двупорогового компаратора, тригера Шмітта

Одним з таких схем є тригер Шмітта, який має два порога компарації, амплітуда будь-якого сигналу перешкоди повинна перевищувати різницю порогів напруги для того, щоб відбулося багаторазове перемикання стану вихідної напруги. Компаратор, побудований на основі тригера Шмітта знаходить широке застосування для відновлення строго прямокутної форми сигналу трансльованого по довгій неузгодженою лінії зв'язку. Гранична напруга компаратора задається, як правило, рівним половині амплітуди вхідного сигналу. Це робиться для того щоб запобігти спотворення тривалості сигналу [22]. Тригер Шмітта має як позитивне VT + так і негативне VT- зміщення рівня порогового напруги. На рис.4.3 приведена схема двухпорогового компаратора, що представляє собою тригер Шмітта побудованого на ОУ. Компаратор охоплюється позитивним зворотним зв'язком через дільник напруги R1, R2. Змінюючи співвідношення дільника R1, R2, можна змінювати напругу спрацьовування Uпор

$$U_{вих} = U_{вих} \cdot \frac{R_2}{R_1 + R_2},$$

Зазвичай $U_{вих} \approx +E_n$ або $-E_n$.

$$U_{пор2} = +E_n \cdot \frac{R_2}{R_1 + R_2}, U_{пор1} = -E_n \cdot \frac{R_2}{R_1 + R_2}$$

При $R_2 = 0$, компаратор стає однопороговим.

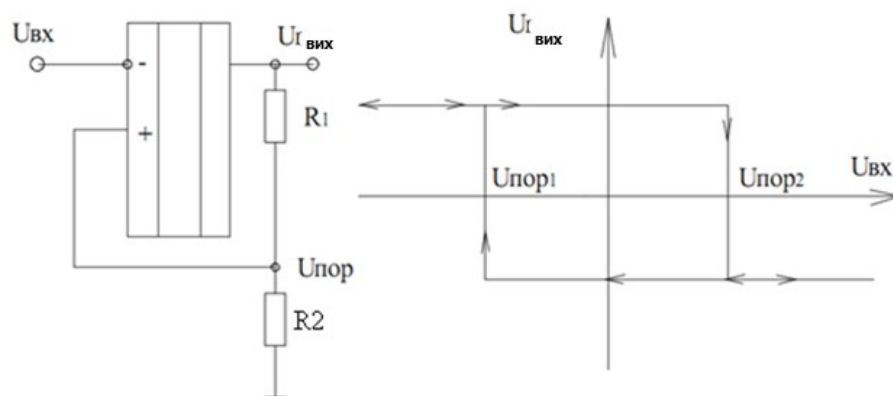


Рисунок 4.3 - Двухпорогового компаратор і його передавальна характеристика.

Напряга гістерезису визначається $\Delta U = U_{пор2} - U_{пор1}$.

В даному випадку порогові напруги симетричні щодо нульового потенціалу. Передавальний характеристику можна переміщати вліво і вправо, подачею додаткового напруження $U_{см}$ на інверсний вхід компаратора (рис. 4.4). Гранична напруга спрацьовування визначатиметься:

$$US_{пор2} = U_{см} + E_n \cdot \frac{R_2}{R_1 + R_2}, US_{пор1} = U_{см} - E_n \cdot \frac{R_2}{R_1 + R_2}.$$

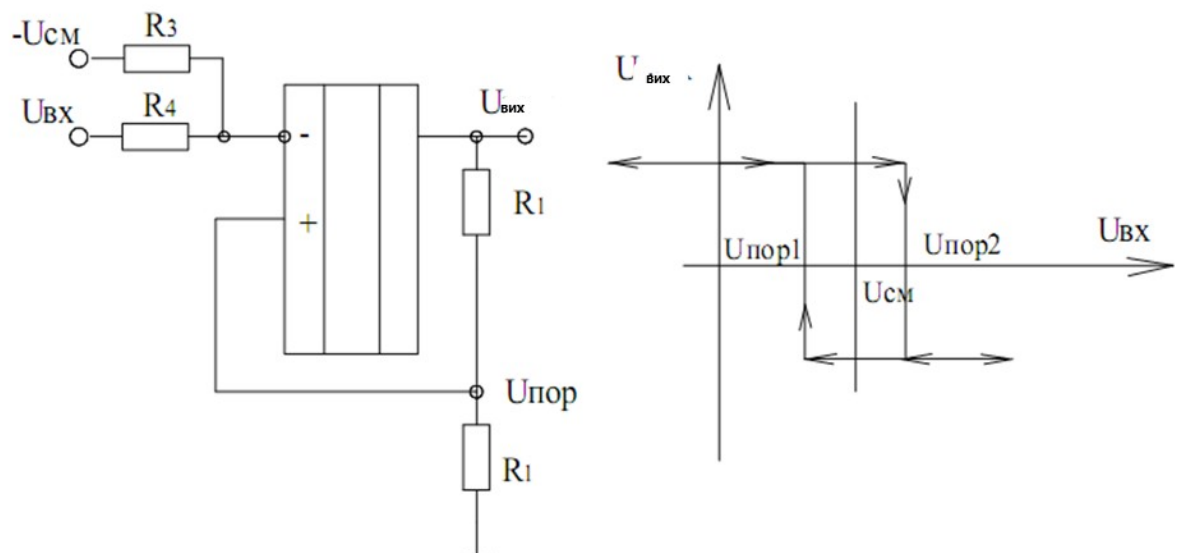


Рисунок 4.4 - Двухпорогового компаратор і його передавальна характеристика при $U_{см}$.

Одновібратор призначений для формування прямокутного імпульсу необхідної тривалості при подачі на його вхід короткого імпульсу, що запускає. Схема одновібратора побудована на основі розглянутої схеми мультівібратора, в якій є два тимчасово стійких стану. Однак, на відміну від мультівібратора, один стан є стійким, а інший стан - тимчасово стійким. Одновібратор називають часто чекають мультівібратором. Сталий стан схеми характеризує вихідний режим роботи одновібратора. Нестійкий стан

настає з приходом вхідного імпульсу, що запускає. На рис. 4.5 наведена найпростіша схема одновібратора на одному ОУ і тимчасові діаграми його роботи [23].

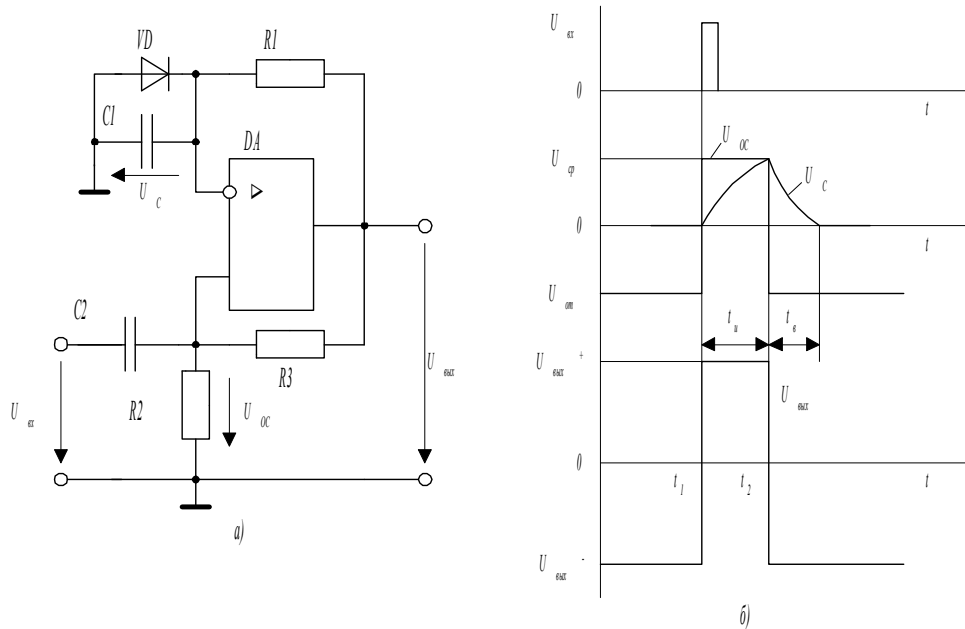


Рисунок 4.5 - Схема і тимчасові діаграми одновібратора на ОУ

У схемі одновібратора для створення режиму очікування роботи паралельно конденсатору C_1 включений діод VD . У початковому стані напруга на виході одновібратора рівно $U_{вих}^{-}$, що визначає напругу на вході інвертується ОУ, рівним $U_{oc} = U_{om} = \gamma \cdot U_{вих}^{-}$, где $\gamma = \frac{R_2}{R_2 + R_3}$, U_{om} - напруга відпускання. Напруга на вході інвертується дорівнює падінню напруги на відкритому діоді, тобто близьке до нуля. Конденсатор C_1 розряджений, так як діод VD відкритий і перешкоджає його заряду вихідним напругою через резистор R_1 . $U_{oc} < U_c$ отже компаратор знаходиться в стані негативного напруги. У момент часу t_1 на вхід одновібратора надходить короткий позитивний імпульс з амплітудою . При цьому умови тригер Шмідта стрибком переходить в протилежний стан $U_{вих}^{+}$, а на неінвертуючий вході встановлюється напруга, а на неінвертуючий вході встановлюється напруга .

$$U_{oc} = U_{cp} = \gamma U_{\text{вих}}^+$$

Позитивне вихідна напруга ОУ замикає діод і конденсатор $C1$ починає заряджатися через резистор $R1$. У момент t_2 , коли

$$U_c = \gamma U_{\text{вих}}^+ \geq U_{oc}$$

, відбувається зворотне перемикання тригера Шмідта. З цього моменту починається етап відновлення одновибратора в початковий стан, протягом якого конденсатор $C1$ розряджається через резистор $R1$. У момент, коли напруга на конденсаторі U_c стає приблизно рівним нулю, відкривається діод VD і подальшої зміни U_c не відбувається. Тривалість імпульсу одновибратора [1].

$$t_u = R_1 C_1 \ln \left(1 + \frac{R_2}{R_3} \right)$$

Час відновлення одновибратора

$$t_s = R_1 C_1 \ln \frac{2R_2 + R_3}{R_2 + R_3}$$

Через час t_s одновибратор готовий до прийому наступного імпульсу. Регулювання тривалості імпульсу одновибратора може здійснюватися в такий спосіб:

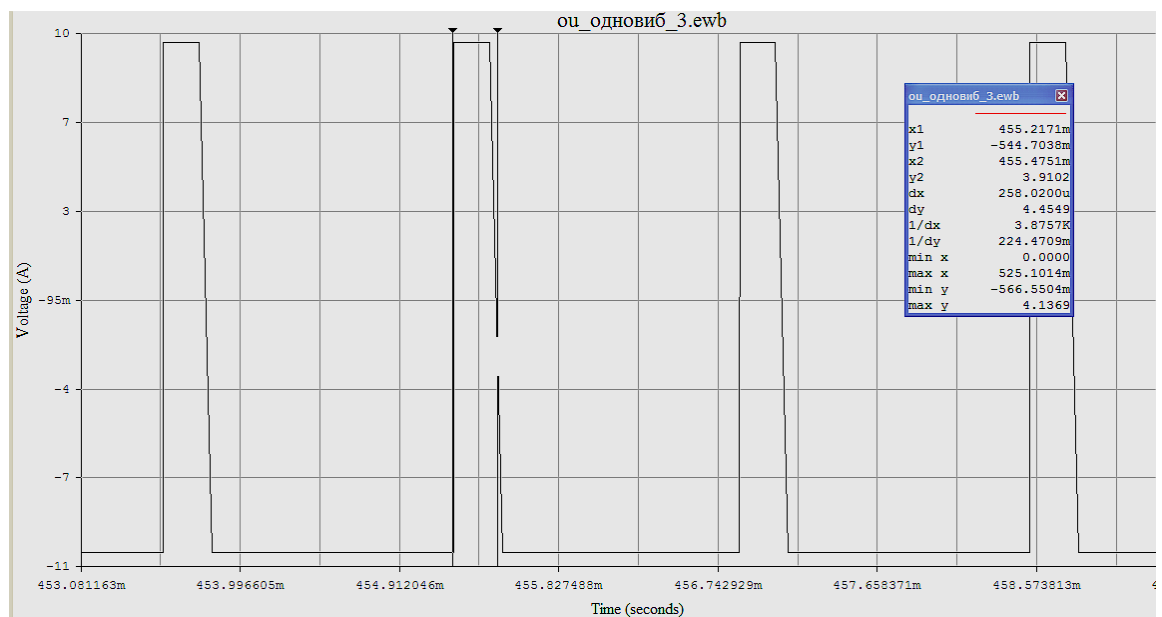
- зміною $R1$ або $C1$, при цьому змінюється швидкість заряду конденсатора $C1$;

- зміною співвідношення $\frac{R_1}{R_2}$. При цьому змінюється напруги спрацьовування компаратора U_{cp} а з ним і час на протязі якого напруги на конденсаторі наросте до величини U_{cp} . Природно, що і амплітуда вхідного сигналу повинна бути більше $U_{от}$, щоб забезпечити перемикання компаратора в початковий стан формування імпульсу. Розрахунок і

модельовання. Проведемо розрахунок формувача імпульсів сигналу телеметрії опорного каналу радіозонда МРЗ тривалістю 260 ± 5 мксек. Для наступних даних: власний коефіцієнт підсилення операційного підсилювача $A = 2 \cdot 10^5$; струм зміщення $I_{см} = 2 \cdot 10^{-7}$ А, напруга живлення $E_n = 20$ В, частота імпульсів, що запускають 1 кГц при амплітуді 3В. У процесі розрахунку визначити: час задають елементи тривалості імпульсу R_1 , C_1 і елементи схеми R_2 , R_3 порогове напруга спрацьовування і відпускання. У процесі розрахунку визначити: R_3 , R_2 для порогового напруження відпускання, яке визначається необхідністю перевищення порога відкритого діода приблизно рівне нулю. На виході диференціальної ланцюга $R_4 = 50$ кОм и $C_2 = 100$ пФ формується імпульсу розмаху 5В, для спрацьовування компаратора задамо поріг рівня відпускання $U_{om} = -4,7$. З урахуванням значення вхідного струму зміщення $I_{см} = 2 \cdot 10^{-7}$ А поставимо $R_2 + R_3 = 100$

кОм. Виходу з визначення напруги відпускання $U_{om} = \frac{R_2 \vee R_4}{R_2 \vee R_4 + R_3} \cdot U_{вх}$ знайдемо $R_3 = 100$ кОм і $R_2 = 30$ кОм. Виходячи з визначення тривалості імпульсу одновібратора

$$t_u = R_1 C_1 \ln \left(1 + \frac{R_2}{R_3} \right) = 260 \mu s$$



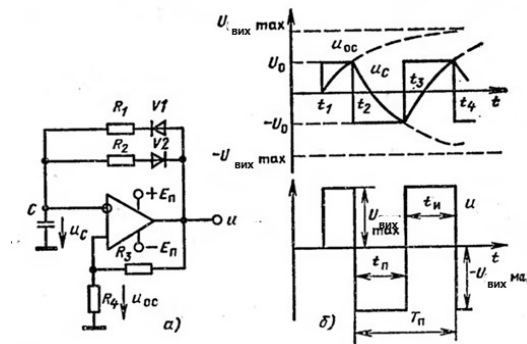


Рисунок 4.8 -. Мультивибратор на ОУ (а) і часові діаграми напруги в схемі мультивібратора (б)

Розглянемо роботу мультивібратора. Пусть при t_1 джерела живлення ОУ відключені: $E_n = 0$, $-E_n = 0$. Конденсатор C розряджений і $u_c = 0$. У момент t_1 підключити E_n і $-E_n$. При їх включенні вихідної напруги ОУ $u_{вих}$ відхилитися або в позитивному, або в негативному напрямку (випадковий процес). Для визначення допустити, що сталося позитивне прирощення $\Delta U_{вих}$. Через ланцюг $R_3 R_4$ це прирощення подається на прямий вхід ОУ, посилюється і в свою чергу викликає збільшення $\Delta U_{вих}$. Процес розвивається лавиноподібно, в результаті в момент t_1 стрибком встановлюється $u_{вих} = U_{вих max}$. Починаючи з моменту t_1 конденсатор заряджається напруга $u_{вих} = U_{вих max}$ через резистор R_1 , так як до анода діода V_1 прикладена позитивна напруга, постійна часу $\tau = R_1 C$. Наростаючим по експоненті напруга u_c подається на інвентуючий вхід ОУ. На прямий вхід ОУ через ланцюжок ПОС $R_3 R_4$ подається напруга.

$$u_{oc} = U_{вих max} \frac{R_4}{(R_3 + R_4)} = U_0$$

У момент $t = t_2$ напруга на конденсаторі u_c досягає значення і відбувається спрацьовування компаратора. Його пригода протикає лавиноподібно (регеніративний процес) і завершується при $U_{вих} = -U_{вих max}$. Напруга на конденсаторі не може змінитися стрибком і, починаючи з моменту t_2 , відбувається перезарядка конденсатора через резистор R_2 напругою $U_{вих} = -U_{вих max}$ з постійною часу $\tau = R_2 C$ (на діоді V_2 пряме напруга - мінус на Катоді). Ми відзначаємо, що, впливаючи на діод V_1 і V_2 компаратор

здійснюється перемикання ланцюгів заряду (V_1 , R_1) і розряду (V_2 , R_2) конденсатора С. При $t_2 < t < t_3$ напруга на прямому вході ОУ.

$$u_{oc} = \frac{-U_{вих\ max} R_4}{R_3 + R_4} = -U_0$$

Конденсатор С не встигає розрядитися до напруги $-U_{вих\ max}$ так як в момент t_3 напруга на ньому досягає значення $-U_0$ і знову відбувається регеративне перемикання компаратора, при цьому встановлюється $u_{вих} = U_{вих\ max}$, $u_{oc} = U_0$. Знову починається етап заряду конденсатора С через резистор R_1 . При напрузі на конденсаторі $u_c(t_4) = U_0$ відбувається чергове спрацювання компаратора.

Для знаходження t_u розглянемо заряд конденсатора С від джерела $E = U_{вих\ max}$ з постійної часу. Процес починається при $U_c(0) = -U_0$ і завершується при $U_c(t_n) = U_0$. Відповідно с (3.9).

З огляду на залежність U_0 від $U_{вих\ max}$ отримаємо

$$t_n = R_1 C \ln (1 + 2R_3/R_4).$$

Інтервал паузи t_n знайдемо при розгляді перезарядження конденсатора С від джерела $E = -U_{вих\ max}$ з постійною часу $\tau = R_2 C$; $U_c(0) = U_0$; $U_c(t_n) = -U_0$. Відповідно с (3.9).

$$t_n = R_1 C \ln \frac{U_{вих\ max} + U_0}{U_{вих\ max} - U_0} = R_2 C \ln (1 + 2R_4/R_3) \quad (3.11)$$

$$\text{Період повторення } T_n = t_u + t_n = (R_1 + R_2) C \ln (1 + 2R_4/R_3) \quad (3.12)$$

$$\text{Шпаруватість } Q = T_n/t_n = (R_1 + R_2) / R_1 \quad (3.14)$$

Відзначимо що значення t_u , t_n , T_n і Q не залежить від параметрів ОУ. Це обумовлює високу стабільність частоти і скваженіє Q мультивибратора [24].

1) Розглянемо способи регулювання частоти і шпаруватості мультивибратора. При регулювання частоти f і скваженість Q не повинна змінюватися. Можна припустити наступні способи регулювання частоти:

а) зміною ємності конденсатора C . Цей спосіб застосовується рідко, так як пов'язаний з громоздкою рішеннями;

б) зміною R_3/R_4 ставлення шляхом зміни одного з цих сопроптевлень. При цьому зменяються U_0 . Наприклад, при увелечении R_4 збільшується U_0 конденсатор C за час t_u , повинен заряджатися до великої напруги U_0 , але його постійна часу незмінна, тому t_u і росте. Так ж змінюється отжет t_n , частота f зменшується.

2) При регулюванні скважности необхідно підтримувати постійним значенням f тобто при збільшенні тривалості імпульсу на те ж значення необхідно зменшити тривалість паузи. Для цього R_1 і R_2 в схемі виконуються у вигляді потенціометра, середня точка якого приєднана до інвентирующем входу ОУ, а крайні точки - відповідно до катода діода V_1 і анода діода V_2 . При регулюванні зсувається середня точка потенціометра, але сума сопроптевлень $R_1 + R_2$ залишається незмінною. Розрахунок і моделювання. Проведемо розрахунок генератора опорної частоти сигналу телеметрії радіозонда МАРЗ періодом 480 мкс що відповідає частоті 2080 ± 20 Гц. Для наступних даних: власний коефіцієнт підсилення операційного підсилювача $A = 2 \cdot 10^5$; струм зміщення $I_{см} 2 \cdot 10^{-7}$ А, напруга живлення $E_n = 15$ В, (рис.4.9, рис 4.10, рис.4.11)

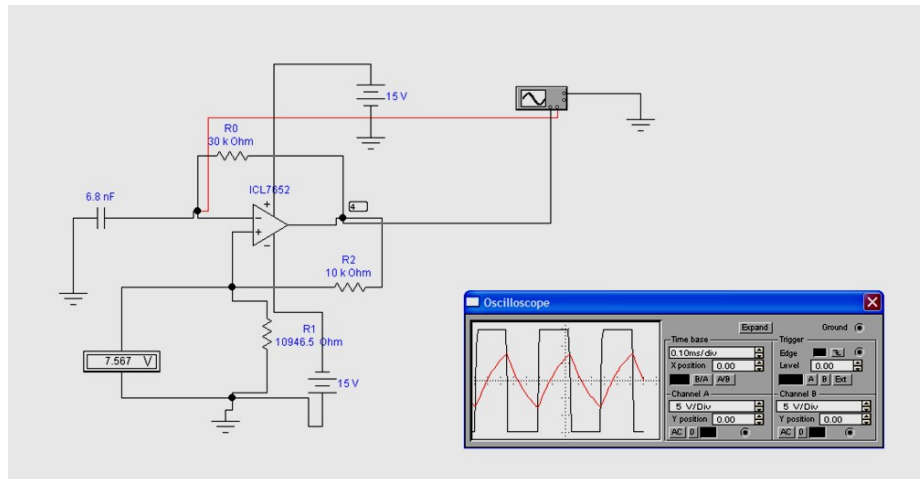


Рисунок. 4.9. - Схемотехнічна модель генератора опорної частоти, сигналу телеметрії радіозонда.

У процесі розрахунку визначається: час заряду і розряду інтегруючого ланцюга і період генерується імпульсної послідовності, елементи R_0 , C і елементи схеми R_2 , R_1 порогове напруга спрацьовування і відпускання. У процесі розрахунку визначити: R_1 , R_2 для порогового напруження відпускання, яке визначається необхідністю перевищення напруги на конденсаторі і спрацьовування компаратора. З урахуванням значення вхідного струму зміщення $I_{см} = 2 \cdot 10^{-7} \text{ A}$ поставимо $R_2 + R_1 \leq 100 \text{ кОм}$.

Виходу з визначення напруги відпускання $U_{om} = \frac{R_1}{R_1 + R_2} \cdot U_{вх}$ знайдемо $R_1 = 10 \text{ кОм}$ и $R_2 = 10 \text{ кОм}$.

Виходячи з визначення періоду імпульсної послідовності мультивибратора

$$T_n = 2 R_0 C_0 \ln \left(1 + \frac{2 R_1}{R_2} \right) = 489 \mu\text{s},$$

постійна часу інтегруючого ланцюга $\tau = R_0 \cdot C_0 = 2.404 \cdot 10^{-4}$,

задаючи значення ємності $6,8 \text{ пФ}$ знаходимо $R_1 = 30 \text{ кОм}$.

$$T_n = 2 R_0 C_0 \ln \left(1 + \frac{2 R_1}{R_2} \right) = 489 \mu\text{s}$$

Створена модель мультивибратора в Electronics Workbench за розрахун - ковими параметрами уточнюється по експериментально певного значення періоду імпульсної послідовності. За осцилограмме вихідного сигналу вимірюємо тривалість періоду імпульсної послідовності [25] .

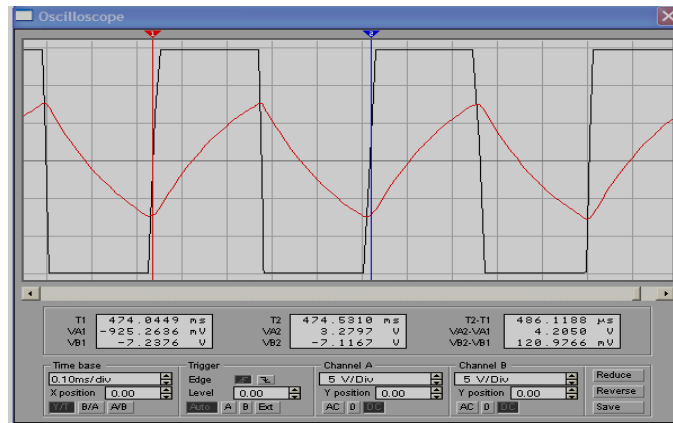


Рисунок 4.10 - Осцилограма сигналу телеметрії і RC - ланцюга заряду і розряду генератора опорної частоти.

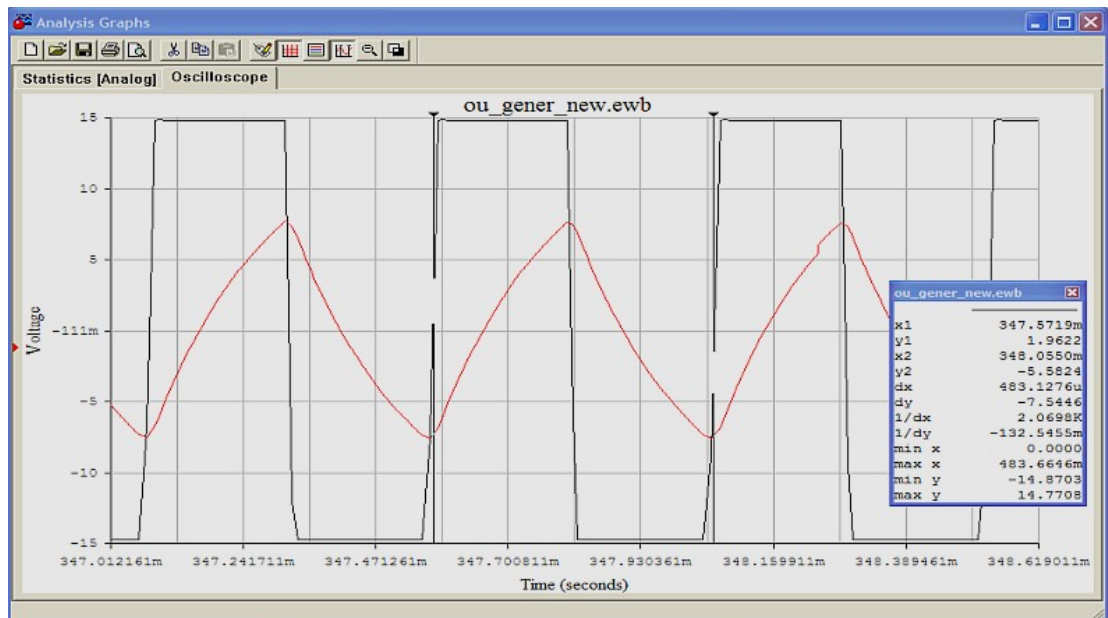


Рисунок 4.11 - Команд моделювання Display Graph: сигналу телеметрії і RC - ланцюга заряду і розряду генератора опорної частоти.

В окремому вікні відображені параметри сигналів в момент часу установки курсору, період - $dx = 463$ мкс. Осцилограмму можна записати в

файл, для цього треба натиснути кнопку SAVE і в діалоговому вікні ввести ім'я файлу. Записані дані осцилограми можна зі вважати в програмному продукті MATLAB для подальшого аналізу спектру синтезованої опорної частоти, і для більш точного визначення її значення, а також оцінити паразитні побічні складові в спектрі синтезованого сигналу.

Лістинг МАТЛАБ

% Визначення частоти сигналу генератора на ОУ

% Зчитування сигналу осцилографа генератора на ОУ

```
TS_ou = load('E:\АСМОС\2018-2019\ПроектАСМНС\ОУ\ou_gener_new.txt');
delt_t=TS_ou(201,1)-TS_ou(200,1); крок (інтервал) дискретизації сигналу осцилограмми,
сек %Спектральная плотность мощности
fs=1/delt_t; % частота дискретизації Гц
y_1=TS_ou(150:end,2);
nfft=2*length(y_1);
Tfft=nfft*delt_t;; % Тривалість інтервалу перетворення Фур'є, сек
df=1/Tfft; % дискрет частоты для анализа FFT
f=0:df:fs; %вектор отсчетов частоты, для отображения спектра, шаг частоты df
[Pf1,f]=periodogram(y_1,[],nfft, fs);
figure, plot(f,Pf1),grid,title('СПМ сигнала телеметрии радиозонда опорной частоты') ,
xlabel('частота, Гц') ,ylabel('СПМ, В^2/Гц '), xlim([0 fs/10])
```

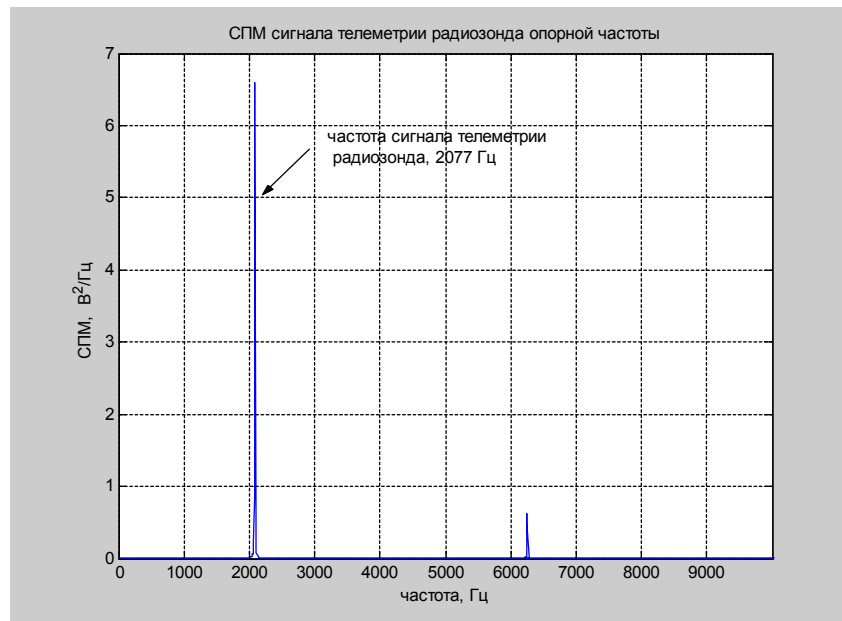


Рисунок 4.12 - Спектр сигнала телеметрии опорного канала радиозонда МАРЗ

При використанні будь-якого методу оцінювання СПМ (спектральна щільність потужності) кінцевої дискретної послідовності доводиться приймати ряд компромісних рішень, які дозволили б отримати статистично стійкі оцінки з максимально можливим дозволом. До таких компромісних рішень відносяться вибір віконних функцій і параметрів усереднення в тимчасовій і в частотній областях [25].

ВИСНОВКИ

Основним методом аерологічних досліджень є радіозондування, тобто вимір різних метеорологічних величин за допомогою піднімається в атмосферу приладу. Це вимірювання швидкості і напрямку вітру, тиску,

температури, вологості та інших фізичних величин, а також газового і аерозольного складу повітря.

Радіозондування виробляють за допомогою технічних засобів - системи радіозондирования включають радіозонд, що випускається у вільний політ, і наземне обладнання. Радіозонд складається з чутливих елементів - датчиків (температури і вологості, в деяких моделях також тиску), вимірального перетворювача, радіопередавача.

Побудова статичних характеристик перетворювача температура-частота і вологість-частота по вихідним коефіцієнтами апроксимації дозволяє оцінити попередній спектральний діапазон каналу телеметричної інформації.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ

- 1.ТолмАерол 1. pdf Н.И. Толмачева, Н.А. Калинин
Аэрология.1980.450с
2. Методы зондирования pdf В.Н. Киселев, А.Д. Кузнецов Методы
зондирования окружающей среды1988.350с
3. Принцип аэрологической информационно- измерительной системы _
Улибка pdf
- 4.Датчик влажности из Зондирования Атмосферы. Pdf
- 5.Статична характеристка радиозонда docx
- 6.Лімонов О.С. Цифрова обробка сигналів: Конспект лекцій. – Вид-во
“ТЕС”, Одеса, 2011. – 115 с.
- 7.Великий В.І., Перелигін Б.В. Проектування автоматизованих систем
моніторингу навколишнього середовища: Конспект лекцій. – Одеса:
„Екологія”, 2015. – 170 с.
- 8.Т.С. Рахтор Цифровые измерения. Методы и схемотехника. – М.:
Техносфера, 2004. 376 с.
- 9.Горбачев Г.Н., Чаплыгин Е.Е. Промышленная электроника: Учебник
для вузов/Под ред. В.А. Лапунцова. – М.: Энергоатомиздат, 1988. 320с.
- 10.Фолкенберри Л. Применения операционных усилителей и линейных
ИС. М.: Мир, 1985, 573с.
- 11.Карлащук В.И. Электронная работа на IBM PC. Программа
Electronics Workbench и её применение. М.: Солон-Р, 1999, 500с.
12. Вайнштейн Л.А. Выделение сигналов на фоне случайных помех /
Л.А. Вайнштейн, В.Д.Зубаков. - М.: Изд-во «Советское радио»,175 с.

13. Канарейкин Д.Б. Поляризация радиолокационных сигналов / Д.Б. Канарейкин, Н.Ф. Павлов, В.А. Потехин . – М.: Изд-во «Советское радио», 1966. – 440 с.
14. Автоматизированный метеорологический радиолокационный комплекс «Метеор—Метеоячейка». Руководство по эксплуатации 73-1 887РЭ. —Selex Sistemi Integrati, GmbN, 2006. 108с.
15. Автоматизированный метеорологический радиолокационный комплекс «Метеор—Метеоячейка». Инструкция по монтажу, настройке, регулированию и прогону 73-1887ИМ. - Selex Sistemi Integrati, GmbN, 2006. 86с.
16. Павлов Н. Ф. Аэрология, радиометсорология и техника безопасности. - Л.: Гицрометеиздат, 1980. 432 с.
17. Рыжков А. В. Поляризационная селекция в доплеровских метеорологических РЛС. - Труды ГГО, 1991. 535с.
18. Рыжков А. В. Метеорологические объекты и их радиолокационные характеристики. - Зарубежная радиоэлектроника, 1993. 189с.
19. Шупяцкий А.Б. Радиолокационное измерение интенсивности и некоторых других характеристик осадков / А.Б. Шупяцкий. – М.: Гидрометеиздат, 1960. 118с.
20. Гусев К.Г. Атлас поляризационных параметров эллиптически поляризованных волн, отраженных от сред земной поверхности / К.Г. Гусев. - Харьков, 1966. 315 с.
21. Radar and related hydrometeor observations inside a multicell hailstorm / D.L.Musil, C.Knight, W.R.Sand e.a. – In: Intern. Comf. Cloud Physics, Boulger, Colo, 1976.

22. Честнов Е.П. Предупреждение аварий речных судов при радиолокационной проводке / Е.П. Честнов. – М.: Транспорт, 1986. 184 с.
23. Судовые РЛС: атлас схем / [под ред.. А.М.Байрашевского]. – М.: Транспорт, 1977. 144 с.
24. Radar and the human element. Shippin-gding and shipping Record August 2, 1956.P.138.
25. Briggs, John N. Target Detection by Marine Radar / John N. Briggs – London, United Kingdom, Institution of Engineering and Technology, 2004. 705 p.

Додаток А
Графічна частина магістерської роботи

Моделювання та аналіз
перетворювачів метеорологічних
величин телеметричного тракту в
системах радіозондування
атмосфери

Кафедра автоматизованих систем
моніторингу навколишнього середовища

Керівник: Гор'єв С.А.

Виконав студент 2 курсу групи МАГ-18
Чернишов В.А.

Рисунок А.1 – Тема роботи

- Глобальна система спостережень (GOS - Global Observing System) здійснює вимірювання численних параметрів атмосфери і поверхні для вирішення наукових і прикладних проблем в інтересах різних наук про Землю - метеорології, океанології, кліматології та ін. Ця система постійно вдосконалюється і доповнюється в зв'язку з тим, що багато оптимальні вимоги по вимірах різних характеристик атмосфери і поверхні в даний час ще не вдається виконати.



Рисунок А.2 – Глобальна система спостережень



Рисунок А.3 – Функциональна блок-схема радіозонда типу MAR3

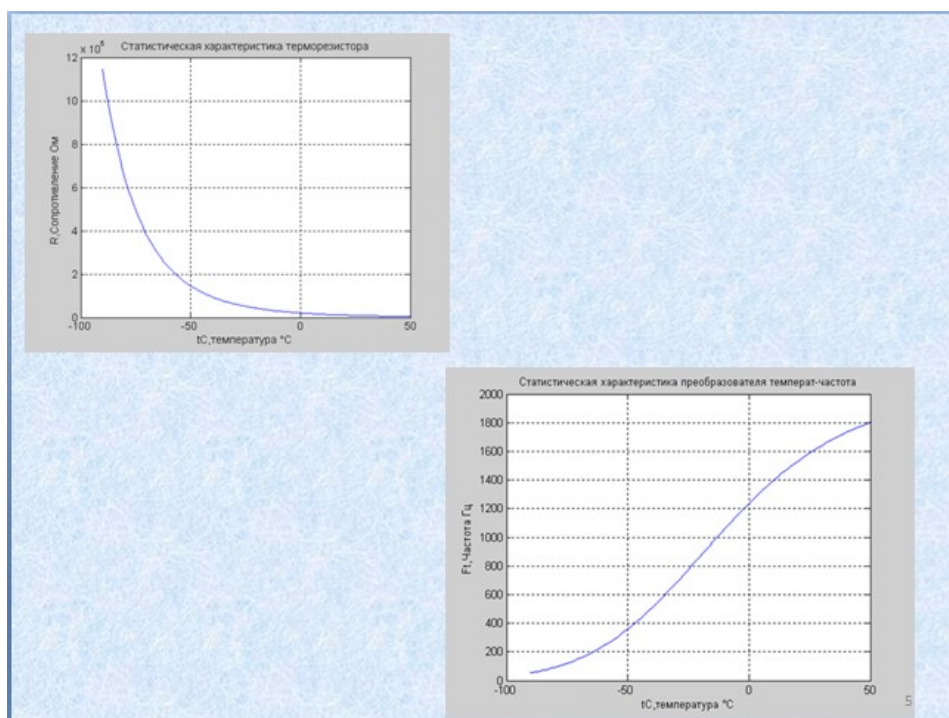


Рисунок А.4 – Статична характеристика перетворювача температ-частота

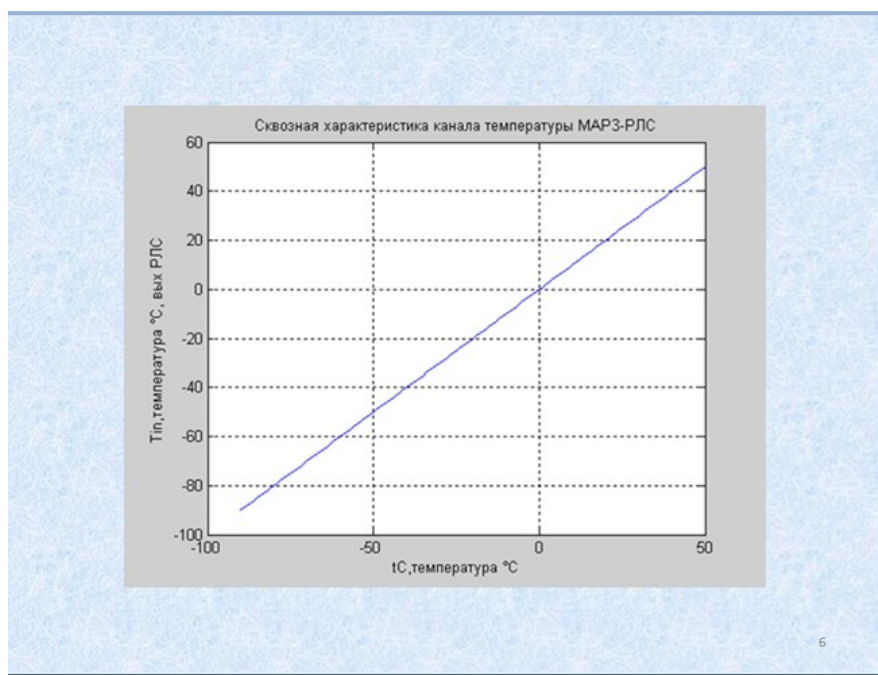


Рисунок А.5 – Наскрізна характеристика каналу температури МАРЗ-РЛС

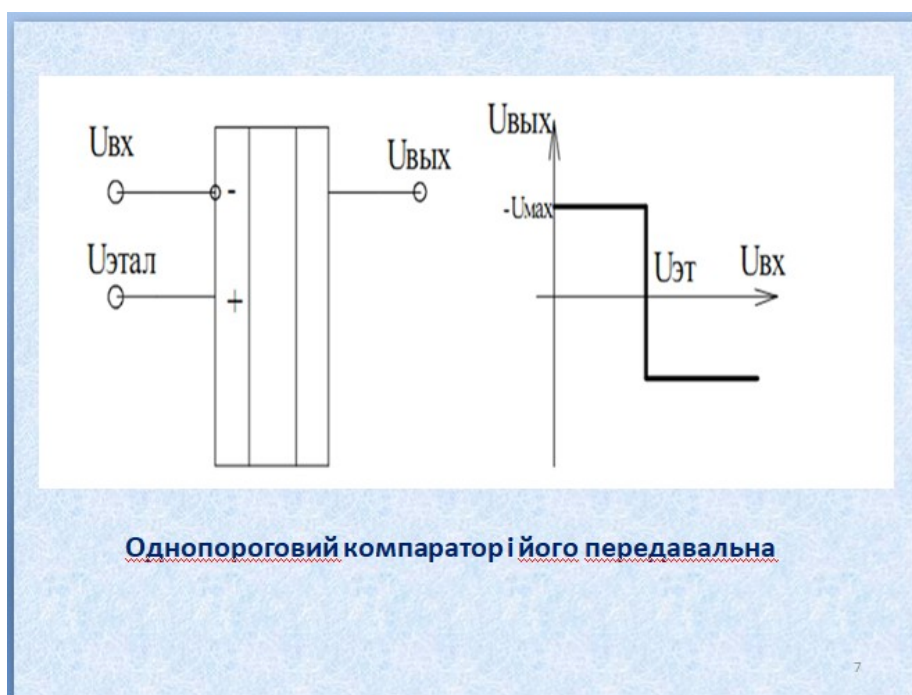


Рисунок А.6- Однопороговий компаратор і його передавальна



Рисунок А.7 – Тимчасові діаграма роботи онопорогового і двухпорогового компаратора тригера Шмідта

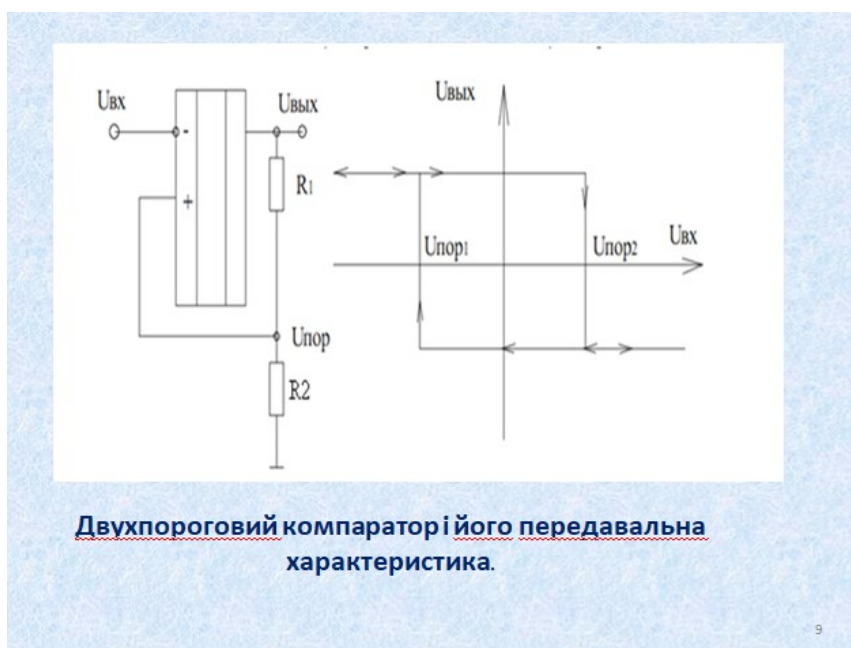


Рисунок А.8 – Двухпороговый компаратор і його передавальна характеристика



Рисунок А.8 –Оцилограма сигналу телеметрії і RC- ланцюга заряду і розряду генератора опорної частоти

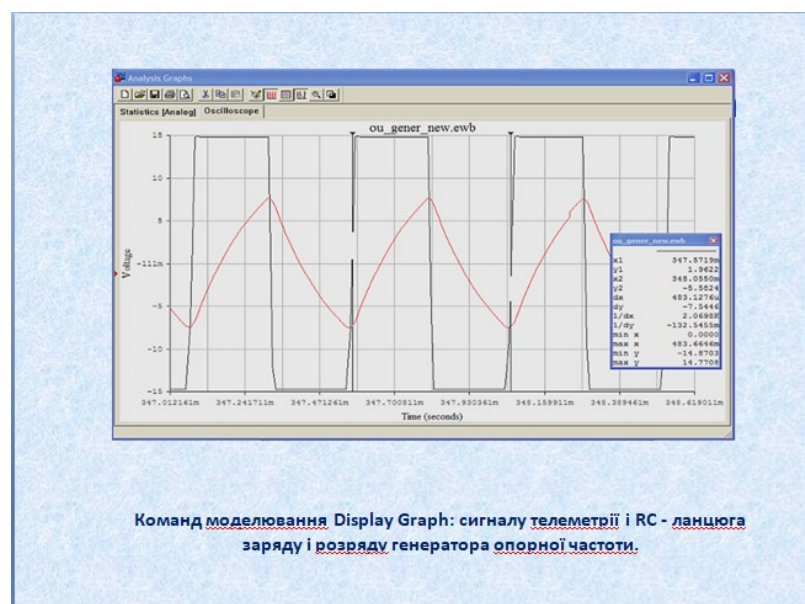


Рисунок А.9 –Комада моделювання Display Graph:сигналу телеметрії і RC- ланцюга заряду і розряду генератора опорної частоти

ВИСНОВКИ

- Основним методом аерологічних досліджень є радіозондування, тобто вимір різних метеорологічних величин за допомогою піднімається в атмосферу приладу. Це вимірювання швидкості і напрямку вітру, тиску, температури, вологості та інших фізичних величин, а також газового і аерозольного складу повітря.
- Радіозондування виробляють за допомогою технічних засобів - системи радіозондування включають радіозонд, що випускається у вільний політ, і наземне обладнання. Радіозонд складається з чутливих елементів - датчиків (температури і вологості, в деяких моделях також тиску), вимірювального перетворювача, радіопередавача.
- Побудова статичних характеристик перетворювача температура-частота і вологість-частота по вихідним коефіцієнтами апроксимації дозволяє оцінити попередній спектральний діапазон каналу телеметричної інформації.

12

Рисунок А.10 – Висновки