МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ОДЕСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ЕКОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Гідрометеорологічний інститут
Кафедра Автоматизованих систем моніторингу навколишнього середовища

МАГІСТЕРСЬКА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на тему: Обгрунтування структурної схеми когерентно-імпульсного метеорологічного радіолокатора малої дальності з розробкою задавального генератора

Виконав студент 2 курсу групи МАГ- 18
спеціальності 103 Науки про Землю
Дедіков Віталій Сергійович

Керівник к.т.н., доц.
Лавріненко Юліан Володимирович

Консультант

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

Одеса 2019

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ
ОДЕСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ЕКОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Інститут, факультет Гідрометеорологічний інститут
Кафедра Автоматизованих систем моніторингу навколишнього середовища
Рівень вищої освіти магістр
Спеціальність 103 Науки про Землю
(шифр і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри
“ 28 ” жовтня 2019 року

З А В Д А Н Н Я
НА МАГІСТЕРСЬКУ КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ

Дедікова Віталія Сергійовича
(прізвище, ім’я, по батькові)

1. Тема роботи: «Обгрунтування структурної схеми когерентно-імпульсного метеорадіолокатора малої дальності з розробкою задавального генератору»
керівник роботи Лавріненко Ю.В.,к.т.н, доцент
(прізвище, ім’я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)
затверджені наказом вищого навчального закладу від“ 18 ” жовтня 2019р. №235 «С»
2. Строк подання студентом роботи 10.12.2019р.
3. Вхідні дані до роботи:
- максимальна дальність дії радіолокатора - 100 км;
- радіолокатор повинен забезпечувати зміну швидкісних характеристик метеоцілей з високою точністю.
4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити)
- аналіз метеорадіолокаційної інформації про хмари;
- вимоги до метеорологічних радіолокаторів малої дальності видимості;
- розробка схеми задавального генератора.
5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов’язкових креслень)
Тема тоботи; ефективна площа розсіювання метеорологічної цілі; Рівняння дальності радіолокаційного спостереження; обмеження радіолокаційного методу спостережень; формула метеорологічного радіусу виявлення хмар і опадів; структурна схема допплерівської РЛС; когерентно – імпульсні радіолокаційні станції; розробка схеми задавального генератора; можливі схеми реалізації задавальних генераторів; схема кварцового генератора на тунельному діоді; алгоритм розрахунку областей збудження; графіки результатів моделювання; висновки.

6. Консультанти розділів роботи

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

7. Дата видачі завдання _28 жовтня 2019р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів магістерської роботи	Термін виконання етапів роботи	Оцінка виконання етапу	
			у %	за 4-х бальною шкалою
1	Отримання завдання на магістерську роботу			
2	Аналіз літератури магістерської роботи			
	Написання першого розділу магістерської роботи			
3	Рубіжна атестація			
4	Аналіз метеорадіолокаційної інформації про хмари			
	Написання першого розділу магістерської роботи			
5	Вимоги до метеорологічних радіолокаторів малої дальності видимості			
6	Розробка схеми задаючого генератора			
7	Здача магістерської роботи керівнику			
8	Перевірка на плагіат			
9	Рецензування			
10	Інтегральна оцінка виконання етапів календарного плану (як середня за етапами)			

Студент _____ _____
(підпис) (прізвище та ініціали)

Керівник роботи _____ _____
(підпис) (прізвище та ініціали)

АНОТАЦІЯ

Представлена робота Дедікова Віталія Сегрійовича на тему «Обгрунтування структурної схеми когерентно-імпульсного метеорологічного радіолокатора малої дальності з розробкою задавального генератора».

Мета магістерської роботи – розробка структурної схеми метеорологічного радіолокатора малої дальності і принципової схеми задавального генератора.

Для досягнення зазначеної мети необхідно вирішення наступних завдань:

- проаналізувати метеооб’єкти;

- вибрати метод радіолокації;

-вибрати варіант структурної схеми метеорадіолокатора;

-представити вимоги до задавального генератора;

-вибрати принципіальну схему та розрахувати задавальний генератор.

У магістерській роботі були розглянуті вище названі завдання і на основі аналізу запропоновано структурна схема метеорадіолокатора малої дальності когерентно-імпульсного типу.

Магістерська робота містить: 66 с., рис. 18, табл. 1, додатки 1, використаних літературних джерел 25.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: задавальний генератор, когерентність, метеораділокатор, параметри сигналу, структурна схема, тунельний діод

SUMMARY

The work of Vitaliy Dedikov on the theme "Substantiation of the structural scheme of a coherent-pulse short-range radar pulse with the development of a satisfactory generator" is presented.

The purpose of the master's thesis is to develop a structural diagram of a short range meteorological radar and a schematic diagram of a satisfied generator.

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

- analyze weather objects;
- select the radar method;
- choose a variant of the structural scheme of the radar;
- submit requirements to a satisfied generator;
-Choose the concept and calculate a satisfactory generator.

In the master's work the above mentioned tasks were considered and on the basis of the analysis the structural scheme of short-range co-pulse meteor radar was proposed.

The master's thesis contains: 66 pages, fig. 18, table. 1, Appendix 1, References 25.

KEYWORDS: satisfied generator, quartz, coherence, meteorological, signal parameters, block diagram, tunnel diode.

ЗМІСТ

ВСТУП……..……..6
1 АНАЛІЗ МЕТЕОРАДІОЛОКАЦІЙНОЇ ІНФОРМАЦІЇ ПРО ХМАРИ……...8
1.1 Ефективна площа розсіювання метеоцілі…….……8
1.2 Радіолокаційна відбиваність…….…11
1.3 Рівняння радіолокації атмосферних утворень…….....13
1.4 Обмеження радіолокаційного методу спостережень……..…16
2 ВИМОГИ ДО МЕТЕОРОЛОГІЧНИХ РАДІОЛОКАТОРІВ МАЛОЇ ДАЛЬНОСТІ ВИДИМОСТІ…….....24
2.1 Ефект Допплера в радіолокації……..……..……..24
2.2Допплерівські радіолокаційні станції з безперервним випромінюванням……27
2.3 Когерентного-імпульсні радіолокаційні станції…….….30
2.4 Псевдокогерентно-імпульсні радіолокаційні станції……..…33
3 РОЗРОБКА СХЕМИ ЗАДАВАЛЬНОГО ГЕНЕРАТОРА……..….……35
3.1 Вимоги до задавальних генераторів……..…35
3.2 Можливі схеми реалізації задавальних генераторів……39
3.3 Побудова задавального генератора на тунельному діоді……42
ВИСНОВКИ……...…56
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ…….……...……57
Додаток А. Графічна частина магістерської роботи……..59

ВСТУП

Розпізнавання стихійних та небезпечних метеорологічних явищ – одне з основних завдань сучасної радіометеорології. На території України небезпечні та стихійні явища відбуваються досить часто . Серед них – грози, град, сильні зливи, шквали, смерчі. Вони нерідко спричиняють надзвичайні ситуації.

Світовий рівень прогнозування цих явищ загалом забезпечує складання попереджень із до статньою завчасністю, проте низка галузей економіки, зокрема, усі види транспорту, особливо авіаційний, потребують конкретизації місця й часу максимального розвитку того чи іншого явища, з метою прийняття рішень щодо запобіжних заходів. Дуже небезпечними, зокрема, для авіації є грозові явища. За даними Міжнародної організації цивільної авіації (ІКАО) у кожній третій аварії несприятливі метеорологічні умови ускладнювали керування повітряним судном, а нерідко й були її головними чинниками.

Небезпеку для аеронавігації становлять як самі грозові хмари, так і зони конвективних хмар, що перебувають у передгрозовому стані. У таких зонах зафіксовано інтенсивну турбулентність, сильні зсуви вітру, обледеніння, град, сильні зливи. До того ж виникає небезпека ймовірного ушкодження літака електричними розрядами, тому що літак, маючи на своїй поверхні статичний заряд, притягує на себе так званий стример.

Усе це актуалізує роботи, спрямовані на дослідження складних атмосферних процесів, пов’я заних із небезпечними конвективними процесами, зокрема з грозовими хмарами.

Із усіх методів оперативного одержання інформації щодо конвективних хмар і пов’язаних із ними небезпечних явищ, найперспективнішим є радіолокаційний метод. Він здобув визнання як в оперативній роботі прогностичних підрозділів, так і в багатьох наукових працях. Над ним протягом тривалого часу працювала велика група вітчизняних та зарубіжних вчених провідних методичних центрів і досвідчених фахівців практиків.

Накопичений досвід експлуатації МРЛ і застосування радіолокаційної метеорологічної інформації на гідрометеорологічній мережі, а також багаторічні результати наукових досліджень було узагальнено в численних монографіях, упроваджено як методичні вказівки й посібники, опубліковано й затверджено у вигляді основних керівних документів для відповідних оперативних підрозділів. Основні переваги радіолокаційного методу полягають у його безінерційності, можливості огляду значної території (ефективний радіус дії 180-200 км) за відносно високої просторової роздільності та можливості до всебічної автоматизації.

1 АНАЛІЗ МЕТЕОРАДІОЛОКАЦІЙНОЇ ІНФОРМАЦІЇ ПРО ХМАРИ

1.1 Ефективна площа розсіювання метеоцілі

Застосування радіолокації в метеорології засноване на ефекті розсіювання радіохвиль сантиметрового діапазону частинками хмар і опадів у вигляді крапель дощу, граду, кристалів, сніжинок і їх різних комбінацій.

При проходженні електромагнітної хвилі через хмари і зони опадів у кожної окремої частинки збуджується вторинне випромінювання. При цьому частина енергії хвилі поглинається частинкою і переходить в тепло. Інша частина перевипромінюється у вигляді розсіяної хвилі в різних напрямках, в тому числі в напрямку на радіолокатор. Частота коливань розсіяної хвилі збігається з частотою хвилі, щопадає на частку. Інтенсивність випромінювання такої частки в напрямку на радіолокаційній станції (РЛС) можна оцінити через ефективну площу розсіювання.

Для падаючої на сферичну частинку радіусом a плоскої електромагнітної хвилі значення ефективної площі розсіювання (ЕПР) частки можна розрахувати точно, якщо відома довжина хвилі λ λ і комплексний показник заломлення речовини частки m в діапазоні хвиль λ λ. Наявність уявної частини в m означає, що падає на частку енергія частково поглинається.

Вираз для σ σ виявляєтьсязовсім простим, якщо радіус частинки a значно менше довжини хвилі λ λ, точніше a $\leq$ $\leq$ 0,03λ λ. Для таких малих частинок сферичної форми описується формулою Релея

$$\sigma = \frac{64\pi^5 a^6}{\lambda^4} \left| \frac{m^2 - 1}{m^2 + 2} \right|^2. \tag{1.1}$$

Множник $\left|\frac{m^2-1}{m^2+2}\right|^2$ для води в сантиметровому діапазоні хвиль дорівнює 0,93 ± ± 0,004, а для льоду - 0,197. Звідси випливає, що цей множник для водяній сферичної частинки майже в 5 разів більше, ніж для крижаної сферичної частинки таких же розмірів. Зі збільшенням розмірів частинок, коли a> 0,03λ λ , величина σ σ спочатку стрімко зростає до певної межі, що залежить від співвідношення між a і λ λ , а потім починає осциліровати, поступово наближаючись до граничного значення, пропорційному $\pi\alpha^2$ $\pi\alpha^2$ (рис.1.1).

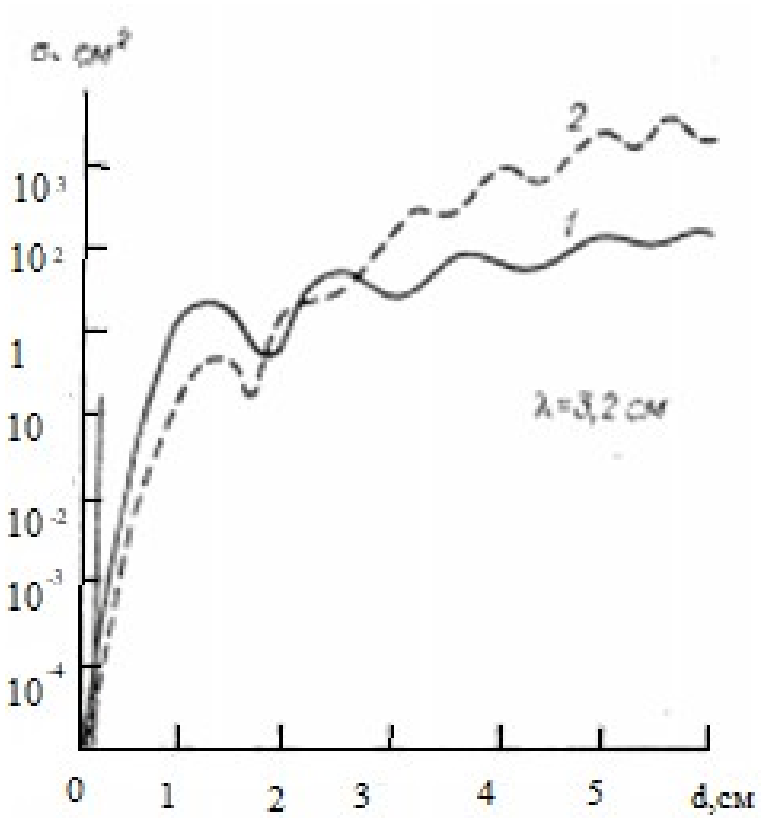


Рисунок 1.1-Зміна ефективної площі розсіювання σ_λ σ_λ водної(1) та льдяної(2) сферичних часток на довжині хвилі 3,2 см

На вхід приймача радіолокатора в період між посилками високочастотних імпульсів передавача одночасно надходять відбиті сигнали, створювані не однієї часткою, а сукупністю частинок, які укладені в відбиває

обсязі, обмеженому шириною діаграми направленості антени радіолокатора і половиною просторової протяжності зондую чого імпульсу. Величина такого обсягу збільшується з віддаленням від радіолокатора. Тому в якості характеристики ЕПР сукупності частин використовується поняття про ефективну площі розсіювання одиниці об'єму, наприклад кубічного метра або кубічного сантиметра ($\sigma_0 \sigma_0$). Якщо положення розсіюють частинок в обсязі взаємно незалежно і довільно, а відстань між частинками таке, що взаємодія (інтерференція) між полями, випромінювання окремими частинками, відсутня, то таке розсіювання називається некогерентним.

$$\sigma_0 = \sum_{i,V} \sigma_i = N\sigma_i, \tag{1.2}$$

В цьому випадку ЕПР одиниці об'єму дорівнює сумі ЕПР Оі окремих

м м

частинок, які перебувають в одиниці розсіює обсягу (в 1 або 1 $см^3$ $см^3$). Величина N містить метеорологічну інформацію про хмарах і опадах і вимірюється в $см^{-1}$ $см^{-1}$ або [2].

ЕПР одиниці об'єму називається питомою ефективною площею розсіювання атмосферного освіти. Значення питомої ЕПР, розраховані за формулою (1.2) будуть справедливі тільки для некогерентного розсіювання. В реальних умовах припущення про некогерентному розсіянні не завжди виправдовується: в ряді випадків має місце інтерференція полі в окремих елементарних розсіювачів, при який елементарні розсіяні сигнали складаються з урахуванням фази. Таке розсіювання називають когерентним.

В атмосферних утвореннях в загальному випадку має місце як когерентне, так і некогерентного розсіювання.

Результати досліджень показують, що при радіолокаційному спостереженні хмар і опадів в трисантиметровим діапазоні хвиль розсіювання завжди некогерентно.

ЕПР некогерентно розсіює метеорологічної мети дорівнює добутку питомої ЕПР і дозволяючого обсягу, відбиті сигнали від частинок якого одночасно приходять до радіолокаційної станції(РЛС). Для вузької симметричною діаграми направленості шириною 0 відображає обсяг на видаленні D від РЛС буде описуватися виразом

$$V = \frac{\pi D^2 \theta^2 c \tau_и}{8}. \tag{1.3}$$

З урахуванням цього виразу формула для ЕПР метеоцілі, що складається з однакових часток сферичної форми, буде мати вигляд

$$\sigma = \frac{\pi^6 D^2 \theta^2 c \tau_и}{8\lambda^4} N d^6 \left| \frac{m^2 - 1}{m^2 + 2} \right|^2. \tag{1.4}$$

Вираз (1.3) справедливо в тому випадку, коли обсяг простору, обмежений діаграмою направленості і випромененим імпульсом, весь заповнений відображають гідрометеорними частинками. У реальних умовах, особливо при спостереженні метеорологічних об'єктів на значній відстані, що відображає обсяг простору виявляється лише частково заповненим відображають частинками. Відповідне зменшення ЕПР метеорологічних цілей враховують, вводячи коефіцієнт заповнення К3 $(0 \leqslant K_з \leqslant 1)$.[3].

1.2 Радіолокаційна відбиваність

Відповідно до виразом (1.2) питома ефективна площа розсіювання метеорологічних утворень, що складаються з N однакових сферичних частинок, описується формулою

$$\sigma_0 = \frac{\pi^5}{\lambda^4} \sum_{i,V} d_i^6 \left| \frac{m_i^2 - 1}{m_i^2 + 2} \right|^2, \tag{1.5}$$

$$\sigma_0 = \frac{\pi^5}{\lambda^4} Z, \tag{1.6}$$

де

$$Z = N d_i^6 \left| \frac{m_i^2 - 1}{m_i^2 + 2} \right|^2. \tag{1.7}$$

Величина Z називається радіолокаційною відбиваністю. Як випливає з формули (1.7), радіолокаційна відбиваність визначається кількістю частинок в одиничному обсязі і їх розподілом за розмірами, а також комплексним показником заломлення в діапазоні сантиметрових і дециметрових хвиль. Величина Z характеризує розсіюють властивості хмар і опадів в діапазоні радіохвиль. Величина Z вимірюється в $^{мм^6}/_{м^3}$ $^{мм^6}/_{м^3}$.У зв'язку з тим що діапазон відбиваності Z в реальних хмарах дуже великий (від 10^{-5} 10^{-5} до 10^5 $^{мм^6}/_{м^3}$ 10^5 $^{мм^6}/_{м^3}$), часто для зручності записів Z використовують логарифми або де ці логаріфми ($\lg Z$ $\lg Z$ або lOlgZ). Наприклад, Z = $10^{3,5}$ $^{мм^6}/_{м^3}$ $10^{3,5}$ $^{мм^6}/_{м^3}$ записують як lgZ = 3,5 aZ = 1 $^{мм^6}/_{м^3}$ $^{мм^6}/_{м^3}$ записують як lgZ = 0.

Відбиваність є специфічною метеорологічної характеристикою інтегральної мікроструктури хмар і опадів, такий же, як водність хмар (г /

$^{м^3}$ $^{м^3}$

) або інтенсивність опадів, що випадають (мм / год), і містить

метеорологічну інформацію про обсяги хмар і опадів, що розсіюють радіохвилі. Величина Z на відміну від 0о не залежить від довжини хвилі X і інших параметрів радіолокатора.

Формули для Z і $\sigma_0 \sigma_0$ висловлюють ще одну особливість радіолокаційної інформації–її сильну залежність від розміру часток. Якщо діаметр однієї краплі більше діаметра іншої в 10 разів, то значення Z, $\sigma_0 \sigma_0$ і величина відбитоговід них сигналу будуть відрізнятися в $10^6 10^6$ разів. Величина Z різко зростає при збільшенні розмірів частинок і їх концентрації в хмарі і різко падає в міру їх зменшення. Звідси випливає, що радіолокатор найбільш ефективний при виявленні і визначенні розмірів хмар, що складаються з великої кількості великих часток [4].

Для дощу середньої інтенсивності, як показують експериментальні дані,

$$Z = 200 I^{1,6},$$

де I — інтенсивність опадів (мм / год).

Величина Z в залежності від інтенсивності і походження дощу може набувати значень від 150 до 500 мм/м3, показник ступеня лежить в межах 1,23-1,64.

Для опадів у вигляді снігу в тих же одиницях

$$Z = 2000 I^{2},$$

де I — інтенсивність опадів, відповідна шару води, що утворюється після танення снігу.

1.3 Рівняння радіолокації атмосферних утворень

Рівняння дальності радіолокаційного спостереження хмар і опадів пов'язує між собою технічні характеристики РЛС, параметри

метеорологічних цілей, що визначають їх відображають властивості, ідальність виявлення. Для отримання рівняння дальності радіолокації хмар і опадів скористаємося основним рівнянням радіолокації для точкової мети і підставимо в нього вираз для ЕПР метеоцілі, що складається з однакових сферичних частинок. В результаті підстановки отримаємо

$$P_{пр} = \frac{P_и G S_A \pi^4 \theta^2 c \tau_и}{128 \lambda^4 D^2} N d^6 \left| \frac{m^2 - 1}{m^2 + 2} \right|^2, \quad (1.8)$$

де P_i — імпульсна випромінювана потужність;

G – ККД антени;

0 – ширина діаграми направленості;

з – швидкість поширення радіохвиль;

Tg- тривалість імпульсу;

D – відстань до відбиває обсягу мети;

N – число часток в відбива єобсязі;

d– діаметр відображають частинок;

т– комплексний коефіцієнт заломлення речовини частинок;

Sa- ефективна площа антени.

Так як коефіцієнт корисної дії (ККД) антени і її ефективна площа зв'язані наступними співвідношеннями:

$$G = 4\pi \frac{S_A}{\lambda^2}, \quad S_A = \frac{G\lambda^2}{4\pi}, \quad (1.9)$$

то, висловлюючи одні параметри антени через інші, можна уявити рівняння дальності спостереження радіолокації хмар і опадів в різному вигляді, зокрема як

$$P_{пр} = \frac{\pi^3 P_и G^2 \theta^2 c \tau_и}{512 \lambda^2 D^2} N d^6 \left| \frac{m^2 - 1}{m^2 + 2} \right|^2. \quad (1.10)$$

В метеорологічних РЛС, як правило, застосовуються антени з асиметричними діаграмами направленості і відбивачами дзеркального типу. У таких антен коефіцієнт корисної дії(ККД) і ширина діаграми направленості пов'язані співвідношенням

$$G = 16/\theta^2. \tag{1.11}$$

Тоді отримуємо:

$$\theta^2 = \frac{4\lambda^2}{\pi S_A}. \tag{1.12}$$

З урахуванням формул вираз може бути представлено у вигляді

$$P_{пр} = \frac{\pi^4 P_и S_A c \tau_и}{8\lambda^4 D^2} N d^6 \left| \frac{m^2 - 1}{m^2 + 2} \right|^2. \tag{1.13}$$

Порівнюючи вираз (1.13) і рівняння дальності спостереження радіолокації точкової мети, можна зробити висновок, що при радіолокаційному спостереженні метеоцілей максимальна дальність пропорційна квадратному кореню з випромінюваної потужності та інших енергетичних характеристик, а не кореню четвертого ступеня, як у випадку точкової мети. Це обумовлено залежністю ЕПР метеорологічних цілей від відстані.

З урахуванням неповного заповнення відображає обсягу рівняння радіолокації атмосферних утворень матиме вигляд:

$$P_{пр} = \frac{\pi^4 P_и S_A c \tau_и K_з}{8\lambda^4 D^2} N d^6 \left| \frac{m^2 - 1}{m^2 + 2} \right|^2, \tag{1.14}$$

де К3 – коефіцієнт заповнення відображає обсягу.

При вимірі РПР в якості початкового рівня вибирають будь-яке значення Ро або рівень власних шумів приймача . Беручи до уваги (1.14), можна записати у рівняння радіолокації атмосферних утворень з урахуванням способу вимірювання відображених сигналів:

$$\frac{P_{пр}}{P_{ш}} = \frac{\pi^4 P_{и} S_{А} c\tau_{и} K_{з}}{8\lambda^4 P_{ш}} \frac{Z}{D^2} . \qquad (1.15)$$

Величина

$$П = \frac{\pi^4 P_{и} S_{А} c\tau_{и}}{8\lambda^4 P_{ш}} . \qquad (1.16)$$

Називається метеорологічним потенціалом радіолокаційної станції. Прийнявши С3 = 1 і використовуючи вираз (1.16), можна істотно спростити рівняння (1.16):

$$\frac{P_{пр}}{P_{ш}} = П \frac{Z}{D^2} . \qquad (1.17)$$

З цього співвідношення випливає, що при постійному значенні П по виміряним значенням потужності відбитих сигналів можна отримати інформацію про відображають властивості метеорологічних цілей. Саме на використанні цього співвідношення і засновані кількісні вимірювання при використанні імпульсних РЛС [5].

1.4 Обмеження радіолокаційного методу спостережень

Обмеження радіолокаційного методу спостережень викладені вище особливості радіолокаційного методу зрозуміло вказують на ряд його обмежень.

$г$ $г$

Гранична дальність виявлення метеоутворень радіолокатором обмежується лише дальністю прямої радіовидимості. В принципі радіолокатор може приймати відбитий сигнал від всіх хмар, вершини яких лежать вище лінії радіогоризонту. Однак, як випливає з

рівняння радіолокації реальна максимальна дальність виявлення

$г_{поп}$ $г_{поп}$

визначається при. Природно, що завжди більше

$г_{макс}$ $г_{макс}$

.

Починаючи з відстані 100 км від радіолокатора, частина хмар не буде їм виявлятися через те, що їх вершини будуть лежати нижче лінії радіогоризонту. З цієї причини за допомогою радіолокатора на відстанях понад 100-120 км можна виміряти інтенсивність опадів.

Наявність високих місцевих предметів (будівлі, вежі, сопки) навколо радіолокатора створює кути закриття, часто набагато перевищують нульові. У зв'язку з цим збільшується мінімальна висота виявлення хмарності, розташованої в азимут високих місцевих предметів.

З відстанню збільшується мінімальне значення відбиваності Zmhh, яке при заданому потенціалі радіолокатора ПМ (але не постійною П М7) може дати радіоехо на екранах радіолокатора.

З цієї причини хмари, відбиваності яких менше, на деякій відстані від радіолокатора, який визначається потенціалом, що не будуть виявлятися радіолокатором. Наявність lg як функції відстані дозволяє здійснювати перевірку правильності калібрування системи вимірювання інтенсивності радіоеха. Визначення на будь-якому з відстаней значень відбиваності, менших lg для цієї відстані і потенціалу радіолокатора, свідчить про неправильному налаштуванні і калібрування системи вимірювань інтенсивності радіоеха або допущених оператором прорахунках при обчисленні IgZ (рис.1.2).

Через сильний ослаблення радіохвиль в хмарах і опадах радіолокатор може не виявити хмари, відбиваності яких дозволила б зробити це за відсутності ослаблення. Крім того, при вимірі на λ λ = 3,2 см відбиваності в осередку, розташованої за зоною екранують опадів, ми отримуємо величину lg M, яка може відрізнятися від справжньої на величину $(\Delta \mathbf{lgZ})_{\text{ист}}$ $(\Delta \mathbf{lgZ})_{\text{ист}}$ Звідси $\mathbf{lgZ}_{\text{іст}}$ $\mathbf{lgZ}_{\text{іст}}$ = lg + $(\Delta \mathbf{lgZ})_{\text{осл}}$ $(\Delta \mathbf{lgZ})_{\text{осл}}$.

Поправку, рівну $(\Delta \mathbf{lgZ})_{\text{осл}}$ $(\Delta \mathbf{lgZ})_{\text{осл}}$ можна враховувати, якщо існують переконливі факти, що свідчать про вплив екранующих опадів на вимір lg. Величину поправки можна оцінити по приводиться графіку. По горизонтальній осі відкладено відстань Δr Δr або радіальна протяжність зони опадів, по вертикальнійосі - шукана поправка $(\Delta \mathbf{lgZ})_{\text{осл}}$ $(\Delta \mathbf{lgZ})_{\text{осл}}$.

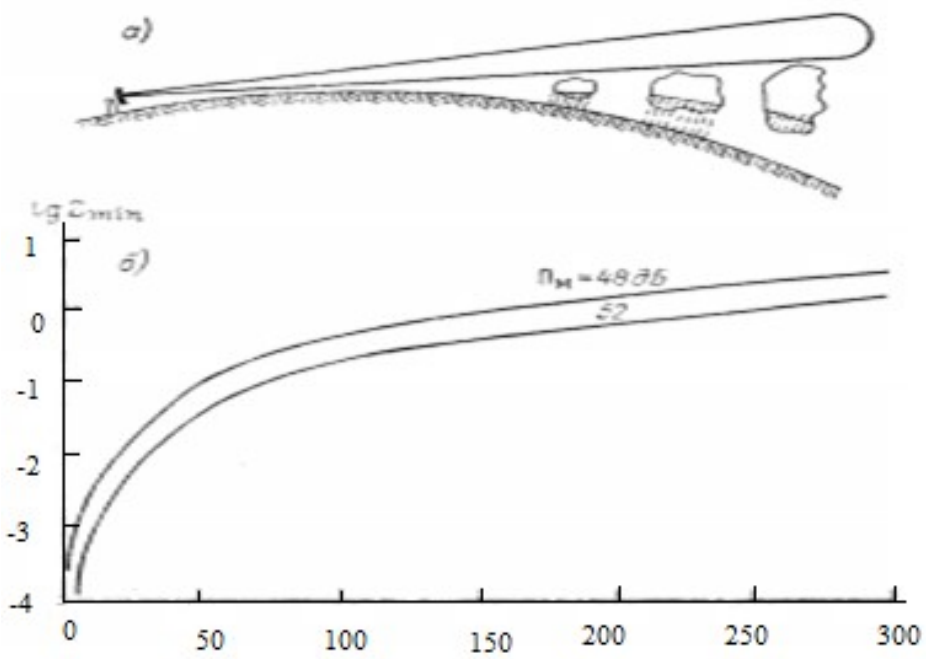


Рисунок 1.2 - Обмеження радіолокаційного методу спостережень: за рахунок підйому діаграми направленості антени над сферичної Землею (а) і за рахунок збільшення мінімально виявленою відбиваності при заданому потенціалі (б)

Наклони непрямі –лінії рівної інтенсивності опадів або лінії рівної відбиваності опадів, екранують зону хмар, в якій проводяться вимірювання. Наприклад, на деякій відстані від радіолокатора розташована зона радіоеха звідбиваності lg Z НЗМ = l, 2; між цією зоною і радіолокатором розташована зона екранують опадів з інтенсивністю 7,5 мм / год (lg Z = 2,0) на відрізку А г = 30 км і з інтенсивністю 12,5 мм / год (lg Z = 2,4) на відрізку ДГ = 15 км. З графіка знаходимо поправки (А lg Z) о ^, рівні 0,7 для першої зони і 0,7 для другої. Сумарна поправка дорівнює 0,7 + 0,7 = 1, 4, а $\mathbf{lgZ}_{\text{ист}}$ $\mathbf{lgZ}_{\text{ист}}$ = 1,2+1,4 = 2,6. Про використання $(\Delta\mathbf{lgZ})_{\text{осл}}$ $(\Delta\mathbf{lgZ})_{\text{осл}}$ (рис.1.3).

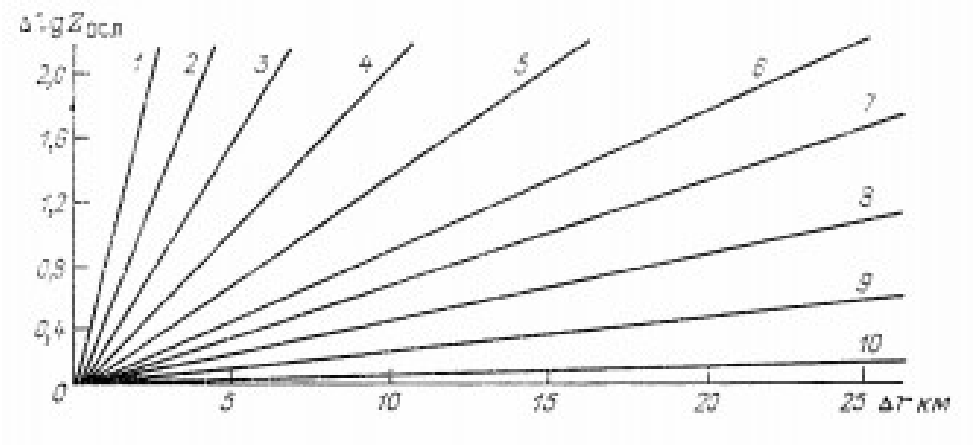


Рисунок 1.3 - Графік для розрахунку поправок відбиваності (AlgZ) ocfl в залежності від інтенсивності екранують опадів I (мм / год) і протяжності зони опадів A г (км)

Крива..... 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10

lgZ 4,4 4,1 3,8 3,5 3,2 2,0 2,7 2,6 2,0 1.1

Таким чином, необхідно пам'ятати, що при вимірюванні хмари, розташованого за зоною опадів, що випадають, радіолокатор на довжині хвилі 3,2 см завжди буде давати кілька занижене значення lg Z.

Зі збільшенням відстані від радіолокатора різко зменшується його роздільна здатність по кутових координатах. Діаграма направленості антени стає настільки широкою, що не дозволяє з задовільною точністю вимірювати висоти і площі радіоеха. Наприклад, на відстані 300 км при 0 = 1° лінійнірозміриперетинудіаграминаправленостіантенистановлятьприблизно 5км, в той час як на відстані 30км вони рівні 0,5км. Звідси випливає нерівномірність радіолокаційноїі інформації про висотах і площах, зайнятих хмарністю, і її залежність від відстані.

Ці основні обмеження радіолокаційного методу спостережень необхідно пам'ятати при інтерпретації отриманих даних [6].

Обгрунтування метеорологічного радіуса виявлення хмар і опадів

З огляду на обмеження радіолокаційного методу метеорологічних спостережень, можна вважати, що метеорологічний радіус виявлення хмар і опадів повинен забезпечувати:

- виявлення і визначення місця розташування і висот зон радіоехо купчасто-дощових хмар з явищами (зливи, грози, град);

- попередження про грози, град і сильних злив дощах з завчасністю, що залежить від характеру явища;

- визначення швидкості і напрямку переміщення зон радіоехо купчасто-дощових хмар і нижній межі радіоехо хмар верхнього і середнього ярусів;

- визначення тенденції зміни радіолокаційних характеристик хмарного поля (системи);

- визначення еволюції радіоехо купчасто-дощових хмар;

- визначення висот кучові ізотерми при наявності шарувато-дощових хмар;

- оцінка миттєвої максимальної інтенсивності опадів, що випадають в радіусі дальності прямої видимості від радіолокатора;

- визначення площ, зайнятих радіоехо опадів;

-забезпечення технічно безпечної від електромагнітного випромінювання;

-зони навколо радіолокатора.

Метеорологічний радіолокатор не забезпечує визначення нижньої межі хмарності, коли з хмар випадають опади. через обмеження лінією радіогоризонту дальності виявлення метеоутворень обмежується радіусом 100 км.

Метеорологічний аналіз радіолокаційних характеристик хмарності.

Аналіз заснований на існуванні стійких фізико-статистичних зв'язків радіолокаційних характеристик з фізичним станом хмарності. При цьому використовується радіолокаційна класифікація заснована як на якісних ознаках горизонтального і вертикального розподілу радіоехо, так і на його

кількісні характеристики (висотах, відбиваності), одержуваних за спеціальною методикою.

На відстанях до 30-40 км від метеорологічного радіолокатора («ближня» 46 зона) первинною інформацією є висоти радіоехо і відбиваності, одержувані при вертикальних розрізах хмарності в обраних азимутах, а також характер змін радіоехо, на відстанях від 30 до 300 км («далека» зона) - висоти і відбиваності в дискретних елементах простору 30Х30 км, їх розподіл і вид картин радіоехо.

Розмір просторових дискретних осередків обраний на основі експериментальних даних з точки зору витрат на проведення первинних вимірювань, а також сумісність наземної і радіолокаційної інформації про локальні грозах.

Метеорологічний аналіз радіолокаційних даних заснований на використанні:

а) детермінованих (заздалегідь складених) описів (для класифікації хмар і хмарних систем);

б) одиночних і комплексних фізико-статистичних критеріїв (для розпізнавання небезпечних явищ, пов'язаних з купчасто-дощовими хмарами);

в) кореляційних зв'язків (для оцінки миттєвої інтенсивності опадів.

Порівнюючи радіолокаційну інформацію про хмарах і пов'язаних з ним явища з наземної візуальною інформацією, необхідно відзначити, що радіолокаційна інформація, програючи наземної в подробиці класифікації, виграє в тому, що радіолокаційні характеристики відносяться до великих площ, і в тому, що вона ефективна саме в тих умовах, коли наземні спостереження утруднені (наприклад, вночі і при хмарності нижнього ярусу).

Радіолокаційний метод спостереження забезпечує більш повну і об'єктивну інформацію:

- про вертикальному розподілі основних видів хмарності в радіусі 40 км, одержувані незалежно від наявності суцільної хмарності нижнього ярусу і часу доби;

- про місце розташування та числа грозонебеспечних злив.

Порівняння показує, що радіолокатор в радіусі 150-200км здатний виявити в 1,5-2 рази більше вогнищ гроз в порівнянні з фактично спостережуваним наземними метеостанціями [7].

Принципово новою є інформація:

- про верхню межу шароподібних хмар;

- про площі, зайнятих різними видами опадів (зливами, градом, обложними опадами), і про миттєву інтенсивності опадів;

- про еволюцію купчасто-дощових хмар і тенденції радіолокаційних характеристик хмарних систем в мезомасштабі.

Таким чином, метеорологічний радіус виявлення хмар і опадів визначається:

- метеорологічним потенціалом ПМ;

- відбиваності хмар 2;

- висотою хмар Н, величина яких більше 2 т | П (г);

- дальністю прямої видимості радіолокатора;

-вимогами до точності інформації радіолокатора в дискретних елементах простору.

Рекомендований радіус виявлення хмар і опадів з максимальної точності інформації визначається насамперед дальність радіогоризонту і становить:

$$r_{\downarrow}(\text{Пр. ВИд, Км}) = 4{,}12(\sqrt{(h_{\downarrow}(\text{а, м})}\ )\ r_{\downarrow}(\text{Пр. ВИд, Км}) = 4{,}12(\sqrt{(h_{\downarrow}(\text{а, м})}\ +). \quad (1.17)$$

Таким чином приведений аналіз показує , що використання радіолокаційних методів дозволяє збільшити зону виявлення різноманітних метеоявищ та повисити точність визначення їх характеристик.

Основне рівняння радіолокації для випадку виявлення параметрів гідрометеорів повинно враховувати окрім параметрів радіолокатора ще й

характеристики, такі як : діаметр відбиваючих частинок, їх щільність, показник діелектричної сталої. І для випадку метеорадіолокації залишається в силі обмеження мінімальної висоти об’єктів, зв’язане с кривизною поверхності Землі [8].

Таким чином приведений аналіз показує , що використання радіолокаційних методів дозволяє збільшити зону виявлення різноманітних метеоявищ та повисити точність визначення їх характеристик.

Основне рівняння радіолокації для випадку виявлення параметрів гідрометеорів повинно враховувати окрім параметрів радіолокатора ще й характеристики, такі як: діаметр відбиваючих частинок, їх щільність, показник діелектричної сталої. І для випадку метеорадіолокації залишається в силі обмеження мінімальної висоти об’єктів, зв’язане с кривизною поверхності Землі.

2 ВИМОГИ ДО МЕТЕОРОЛОГІЧНИХ РАДІОЛОКАТОРІВ МАЛОЇ ДАЛЬНОСТІ ВИДИМОСТІ

Ефект Допплера — явище зміни частоти хвилі, яку реєструє приймач, викликане переміщенням джерела або приймача.

Ефект названий на честь австрійського фізика Крістіана Допплера.

Виходячи з власних спостережень за хвилями на воді, Допплер припустив, що подібні явища відбуваються в повітрі з іншими хвилями. На підставі хвильової теорії він в 1842 році вивів, що наближення джерела світла до спостерігача збільшує спостережувану частоту, віддалення зменшує її. Допплер теоретично обгрунтував залежність частоти звукових і світлових коливань, що сприймаються спостерігачем, від швидкості і напряму руху джерела хвиль і спостерігача відносно один одного.

Допплер використав цей принцип в астрономії і провів паралель між акустичним і оптичним явищами. Він вважав, що всі зірки випромінюють біле світло, однак колір змінюється через їх рух до або від Землі (цей ефект, для розглянутих Допплером подвійних зірок, дуже малий). Хоча зміни в кольорі неможливо було спостерігати з обладнанням того часу, теорія про звук була перевірена вже в 1845 році. Тільки відкриття спектрального аналізу дало можливість експериментальної перевірки ефекту в оптиці.

2.1 Ефект Допплера в радіолокації

Принцип дії допплерівских РЛС заснований на використанні ефекту Допплера-Білопільського, що полягає в тому, що при відносному переміщенні джерела коливань або об'єкта, що відображає ці коливання, змінюється частота прийнятих коливань в залежності від швидкості і напряму цього переміщення. Якісно це зміна частоти можна пояснити

наступним чином. Нехай, наприклад, об'єкт рухається в просторі зі швидкістю V (рис. 2.1). При цьому вектор швидкості можна розкласти на дві складові - тангенціальну Vt і радіальну Vr. Радіальна складова являє собою швидкість об'єкта в напрямку РЛС:

$$V_r = V cos\theta \; V_r = V cos\theta \; . \qquad (2.1)$$

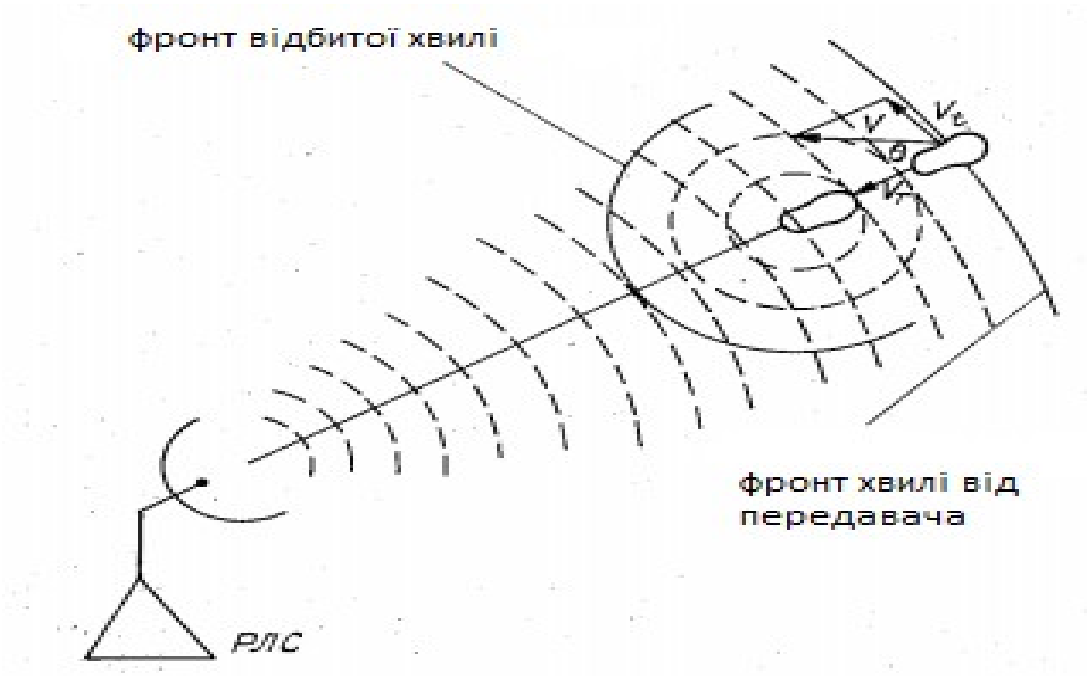


Рисунок 2.1- Відображення коливань від рухомого об'єкту

Якби об'єкт був нерухомий, його за 1 з опромінювало б f хвиль, де f - частота коливань, випромінюваних РЛС. Оскільки об'єкт знаходиться в русі, він за 1 з перетинає додатково ∆ ∆ f хвиль, причому ∆ ∆ f тим більше, чим більше швидкість об'єкта $V_r V_r$. Отже, величина Af прямо пропорційна радіальної швидкості об'єкта $V_r V_r$ і обернено пропорційна довжині хвилі X:

$$\Delta \mathbf{f} = \frac{V_r}{\gamma} = V_r \frac{f}{c} \Delta \mathbf{f} = \frac{V_r}{\gamma} = V_r \frac{f}{c} \; , \qquad (2.2)$$

де с-швидкість світла.

В результаті загальне число хвиль, що досягають об'єкта за 1 с, дорівнює

. (2.3)

Відбитий від об'єкта сигнал повинен мати таку ж частоту. Так як при відображенні сигналу рухомий об'єкт перетинає ще Δf Δf хвиль, то коливання, що надходять в результаті на приймач РЛС, виявляються зміненими по частоті на $2\Delta f$ Δf .

По відношенню до нерухомої РЛС об'єкт грає роль джерела коливань з частотою f + Δf Δf , що наближається зі швидкістю $V_r V_r$. Таким чином, частота прийнятих радіолокаційних сигналів дорівнює

$$= f + 2\Delta f \ \Delta f = f + (1 + \frac{2V_r}{c} \frac{2V_r}{c}). \quad (2.4)$$

У тому випадку, коли об'єкт віддаляється від РЛС, частота прийнятих РЛС сигналів визначається співвідношенням

$$= f + 2\Delta f \ \Delta f = f + (1 + \frac{2V_r}{c} \frac{2V_r}{c}). \quad (2.5)$$

За зміною частоти відбитого сигналу можна судити про наявність об'єкта (цілі). Нерухомі об'єкти за допомогою такого методу виявити не представляється можливим. Зміна частоти Δf Δf прямо пропорційно радіальної складової швидкості об'єкта: чим більше швидкість об'єкта, тим на більшу величину відрізняється частота відбитого сигналу від частоти коливань, випромінюваних РЛС. Це збільшення частоти називають допплерівскою частотою [9].

Допплерівські частоти здебільшого знаходяться в звуковому діапазоні. Наприклад, якщо частота прямого сигналу f =10^9 10^9 Гц, а об'єктом є літак, який рухається з радіальної швидкістю $V_r V_r$ = 1000 км / год (278 м / с), то

$$2\Delta f \ \Delta f =. \qquad (2.6)$$

Ефект зміни частоти відбитого сигналу був вперше описаний для звукових коливань Допплера. Цим ефектом пояснюється, наприклад, здається підвищення тону гудка паровоза при наближенні його до спостерігача і зниження при видаленні.

У 1900 р видатний російський фізик і астроном А. А. Білопільський довів експериментально, що аналогічне явище спостерігається і в разі електромагнітних коливань. Це явище отримало назву ефекту Допплера-Білопільського.

2.2 Допплерівські радіолокаційні станції з безперервним випромінюванням

На рис. 2.2 зображена функціональна схема РЛС з когерентним безперервним (немодульованим) випромінюванням, призначена для вимірювання радіальної швидкості мети (але не знака швидкості). Передавач станції безперервно генерує синусоїдальні коливання з частотою , які надходять на антену через атенюатор і потім, ослаблені в певну кількість разів, на вхід приймача. Відбитий сигнал з частотою , прийнятий антеною, надходить на вхід приймача. У змішувачі приймача змішуються прямий сигнал передавача і відбитий сигнал. При цьому виникають биття з допплерівскою частотою. Змішувач і фільтр низьких частот виділяють напруга допплерівскої частоти

(2.7)

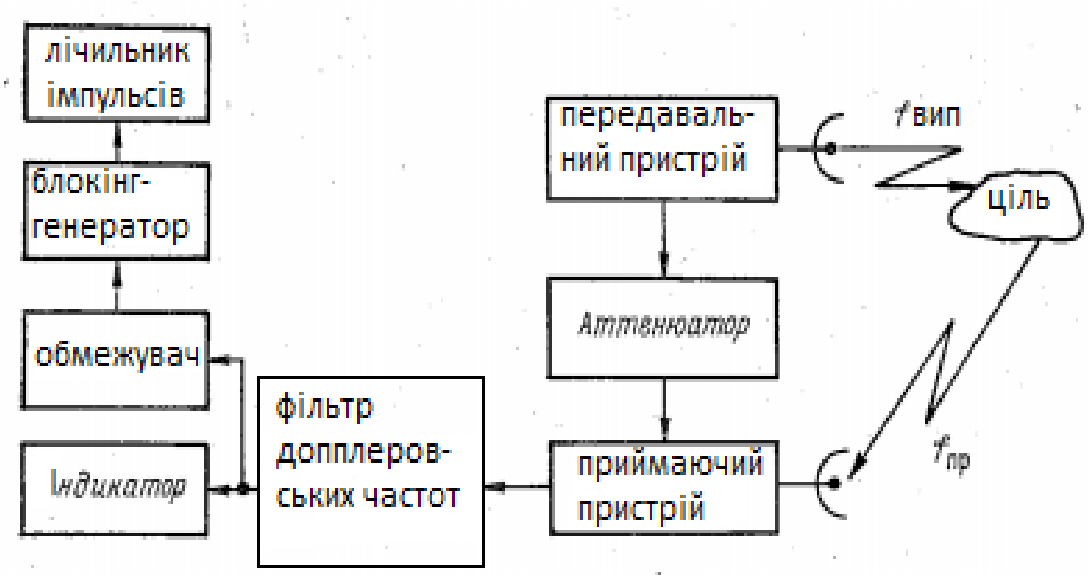


Рисунок 2.2 - Функціональна схема РЛС безперервного випромінювання,призначена для вимірювання радіальної швидкості цілі

Індикатором РЛС може служити стрілочний частотомір, від градуйованих одиницях швидкості, або пристрій, що включає амплітудний обмежувач, що диференціює мета, блокінг-генератор і лічильник імпульсів. Така схема формує стандартні імпульси напруги з частотою повторення, рівний допплерівскій частоті $F_D F_D$.

РЛС повинна забезпечити спостереження об'єктів, що мають різні швидкості переміщення, тому фільтр допплерівских частот повинен мати певну пропускною здатністю відповідно до співвідношення

$$2\Delta f \ \Delta f = \qquad . \qquad (2.8)$$

Оскільки Допплерівська частота жорстко пов'язана з довжиною хвилі випромінюваних коливань, то вибір довжини хвилі проводиться з

урахуванням можливих швидкостей об'єкта. Як зазначалося раніше, допплерівська РЛС призначена для вимірювання радіальних складових швидкостей об'єктів. Вимірювання дальності в таких РЛС принципово можливо, але потребує значних технічними труднощами. Кутові координати в допплерівських РЛС визначаються звичайними способами. Так як для вимірювання різниці частот відбитого і випромінювального сигналів необхідно зберегти інформацію про частоту і фазі излученного сигналу до приходу відбитого, допплерівські РЛС називаються когерентними [10].

Нагадаємо, що два гармонійних коливання називаються когерентними протягом певного інтервалу часу, якщо різниця фаз між ними на цьому інтервалі залишається постійною або змінюється за певним законом. Якщо ж їх фази незалежно і хаотично змінюються з плином часу, то ці гармонійні коливання некогерентного. При цьому в середньому за великий час спостереження різновірогідні будь-які можливі значення різниці фаз від π до π.

У розглянутій РЛС може використовуватися приймач як прямого посилення, так і супергетеродинного типу. Супергетеродинний приймач дозволяє отримати більш високу чутливість приймального тракту. Це пов'язано з. тим, що рівень шумів кристалічного змішувача на проміжній частоті менше.

На практиці часто необхідно знати не тільки модуль, а й знак допплерівскої частоти. Для вирішення цього завдання до виходу підсилювача проміжної частоти включаються так звані дискримінатори нульових биття, схеми яких тут не розглядаються.

Загальним недоліком вимірювачів з безперервним випромінюванням є труднощі боротьби з просочуванням через антену в приймач частини випромінюваної потужності. Амплітуда і фаза проникаючого сигналу схильні до випадкових змін, тому його слід розглядати як перешкоду, що знижує якість роботи апаратури. Зазначений недолік відсутній в імпульсних когерентних РЛС.

2.3 Когерентного-імпульсні радіолокаційні станції

При імпульсному режимі роботи РЛС прояв допплерівського ефекту має характерні особливості. Ці особливості пов'язані з тим, що прийом кожного сигналу і освіту допплерівских биття відбувається за дуже короткий проміжок часу, рівний тривалості імпульсу τ_i τ_i. Ехосигнал від рухомої поділи на виході приймача являє собою послідовність відеоімпульсів, промодульованих допплерівскою частотою по амплітуді.

Можливість вимірювання радіальної складової швидкості мети за допомогою РЛС з безперервним випромінюванням забезпечується когерентністю випроменених передавачем РЛС і прийнятих приймачем коливань. Вимірювання радіальної складової можливо і за допомогою імпульсних РЛС, якщо вони використовують когерентні імпульси.

Когерентної називається така пачка радіоімпульсів, в якій відсутні випадкові зміни фази від імпульсу до імпульсу. Когерентні імпульси можуть бути сформовані в пристрої, що складається з генератора гармонійних коливань з частотою f0 і ключа, керованого модулятором. Отримані таким чином імпульси посилюються, наприклад, за допомогою підсилювальної клістрона і надходять в антену (рис. 2.3).

Пачка імпульсів з випадковими змінами початкової фази від імпульсу до імпульсу називається некогерентного. Радіоімпульси, що генеруються магнетронним генератором, є некогерентного, так як момент виникнення і полярність першого з потужних синусоїдальних коливань носить випадковий характер. Послідовність некогерентних радіоімпульсів не є періодичною, а являє собою ряд незалежних один від одного імпульсів. РЛС, в яких зондує сигнал складається з некогерентних імпульсів, зазвичай називають некогерентного.

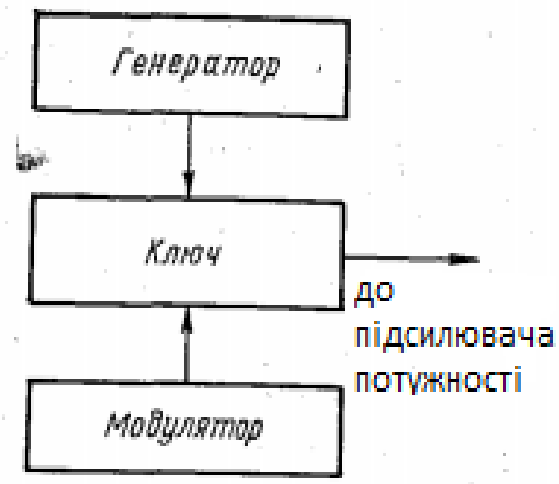


Рисунок 2.3- Схема формування когерентних імпульсів-шляхом «вирізання» з синусоїдальної напруги

У когерентно-імпульсної РЛС (рис. 2.3) випромінюються когерентні імпульси, які формуються з високочастотних коливань когерентного гетеродина і які використовуються в якості опорних в процесі вимірювань різниці частот відбитого і випромінювального сигналів (допплерівскій частоті).

Коливання когерентного гетеродина посилюються підсилювачем потужності, який одночасно за допомогою модулятора виконує роль ключового пристрою. При цьому з гармонійних коливань гетеродина «вирізаються» когерентні радіоімпульси, що випромінюються потім антеною в простір. Відбиті сигнали після посилення в підсилювачі високої частоти і напруга когерентного гетеродина подаються на фазовий детектор. На виході фазового детектора формуються відеоімпульси, амплітуда яких змінюється з допплерівскою частотою ($V_r \neq 0$ $V_r \neq 0$). Відмітка рухомій цілі з-за пульсації амплітуди виявляється двосторонньої і як би «заштрихованої» (рис. 2.4).

Якщо ціль нерухома ($V_r V_r$ = 0 і $F_D F_D$ = 0), то відмітка цілі має постійну амплітуду.

Якщо при використанні когерентно-імпульсних РЛС допплеровская частота $F_D = \frac{k}{F_п} F_D = \frac{k}{F_п}$ кратна частоті повторення імпульсів станції, рухома ціль сприймається як нерухома. В цьому випадку амплітуда імпульсів на виході фазового детектора постійна. Радіальні складові швидкості цілі, для яких допплерівська частота дорівнює або кратна частоті повторення імпульсів станції, називаються «сліпими». Наявність «сліпих» швидкостей є істотним недоліком імпульсних когерентних РЛС. Одним із шляхів боротьби з ним є зміна періоду проходження імпульсів РЛС.

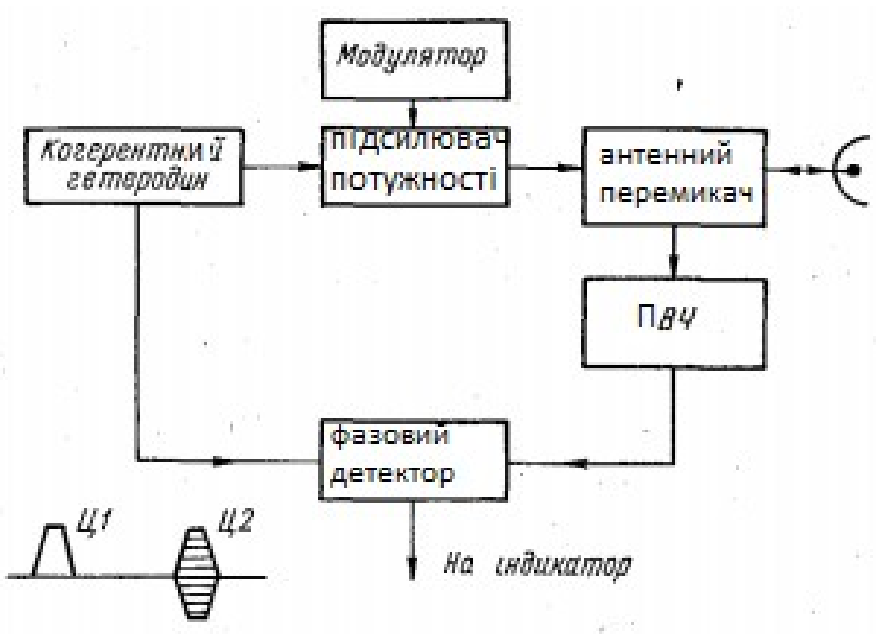


Рисунок 2.4 - Функціональна схема когерентно-імпульсної РЛС

З відеоімпульсів напруга допплерівської частоти може бути виділена звичайним способом і виміряна за допомогою частотоміру або імпульсного лічильника так само, як в когерентної РЛС з безперервним випромінюванням. Таким чином, виділення допплерівскої частоти може бути використано як для вимірювання радіальної складової швидкості цілі, так і для розрізнення рухомих і нерухомих цілей [12].

2.4 Псевдокогерентно-імпульсні радіолокаційні станції

У псевдокогерентно-імпульсних РЛС використовується некогерентний зондує сигнал, що формується, наприклад, магнетронним генератором, але здійснюється запам'ятовування початкової фази кожного імпульсу. Це дозволяє виключити при прийомі вплив випадкової початкової фази і зберегти тільки те зміна фази, яке відбувається за рахунок руху цілі (передбачається, що при відображенні пачки імпульсів не відбувається випадкових змін фази). Запам'ятовування же початкової фази здійснюється за допомогою опорних гармонійних коливань, що заповнюють весь проміжок між імпульсами, початкова фаза яких збігається з початковою фазою зондуючого імпульсу (рис.2.5).

Рисунок 2.5 - Функціональна схема псевдо-когерентно імпульсної РЛС з внутрішньою когерентністю

Розрізняють псевдо-когерентне РЛС з зовнішньої і внутрішньої когерентністю. У системах із зовнішнім когерентністю опорний сигнал

створюється за рахунок відображення від нерухомих протяжних цілей (наприклад, від місцевих предметів). У системах з внутрішньої когерентністю опорний сигнал формується за допомогою спеціального когерентного гетеродина, який потрібно синхронізувати по фазі імпульсом передавача. У псевдокогерентно-імпульсної РЛС з внутрішньої когерентністю імпульси магнетронного генератора через атенюатор надходять на когерентний гетеродин, який в цей момент часу починає працювати на частоті власних коливань, але з нав'язаною магнетроном початковою фазою. До кінця періоду повторення спеціальні імпульси зривають коливання когерентного гетеродина до початку генерування наступного імпульсу магнетрона. Незважаючи на випадковий характер початкової фази кожного імпульсу магнетрона, а отже, і відбитого імпульсу, при незмінній відстані від РЛС до об'єкта різниця фаз між коливаннями когерентного гетеродина і відбитого сигналу залишається постійною. Це визначає однакову амплітуду відеоімпульсів на виході фазового детектора. При русі цілі відеоімпульси виявляються промодульованої по амплітуді допплерівською частотою.

В розділі вказано що для метеорадіолокаторів малої дальності доцільно використовувати ефект Допплера, який дозволяє визначати швидкісні параметри гідро метеорів.

Радіолокатори малої дальності можуть використовувати як безперервний метод радіолокації так і імпульсний. В останньому випадку радіолокатор повинен бути когерентно-імпульсний. Використання імпульсного радіолокатора зпрощує задачу визначення дальності до метеооб’єктів [13].

3 РОЗРОБКА СХЕМИ ЗАДАВАЛЬНОГО ГЕНЕРАТОРА

Генератори – це зручні у користуванні прилади, які являються провідниками електричного струму за умов від'єднання від електромережі та запобігають зупинці перманентної дії або порушенню промислових операцій. Генератори доступні як в електричних, так і фізичних конфігураціях задля широкомасштабного використання.

Електричний генератор – це пристрій, який конвертує механічну енергію, отриману від зовнішнього джерела, у вихідну електричну енергію.

Важливо знати, що генератор насправді не «створює» електричну енергію. Замість цього прилад використовує механічну енергію, яка подається до нього, щоб спрямувати рух електричних зарядів, що перебувають у дроті, через зовнішній електричний ланцюг. Цей потік електричних зарядів складає вихідний електричний струм, що подається генератором. Принцип роботи такого механізму зрозумілий, якщо враховувати те, що генератор є аналогом водяного насоса, який сприяє потоку води, однак не «створює» воду, яка тече через нього.

Новітні генератори виконують свою роботу за принципом електромагнітної індукції, вперше дослідженої Майклом Фарадеєм. Винахідник зробив відкриття, відповідно до якого заряджений електричний потік може бути викликаний перенесенням безпосереднього провідника електроенергії, такого як дріт з електричним зарядом, до магнітного поля. Це переміщення генерує різну напругу між двома кінцями дроту або провідника електроенергії, що спричиняє електричні заряди, які надалі будуть створювати електричний струм [14].

3.1 Вимоги до задавальних генераторів

Первинним джерелом високочастотних коливань в передавачі є автогенератор (генератор з самозбудженням), який задає робочу частоту передавача (якщо в неї немає множення). Такі автогенератори називають задавальними генераторами або збудниками передатчиків.

Основною вимогою до генератора, що задає є забезпечення максимальної стабільності робочої частоти. Ця вимога має різну силу в залежності від назначення станції, робочого діапазона і рівнів розвитку техніки.

Для вагомого числа станцій важливою вимогою є способність автогенератора працювати па деякому числі дискретних волі або всередині певного плавного діапазону

Вимоги отримання максимальної потужності від транзистора і роботи з високим к.п.д. пред'являються до автогенераторів практично тільки в однокаскадних передатчиках, число яких з кожним роком безперервно скорочується.

Для того щоб отримати максимальну стабільність частоти, намагаються ізолювати задають генератори від всіх зовнішніх впливів, живити їх від особливого стабілізованого джерела, не виробляти в них модуляції або телеграфної маніпуляції, в мінімальній степені зв’язувати з подальшими каскадами і вибирати робочий режим з мінімальними температурними перепадами у ламп і деталей коливальних контурів. Остання обставина зумовлює необхідність отримання в заданому генераторі вельми обмеженою потужності, зазвичай не перевищує кількох ват.

Питання отримання високої стабільності частоти на стільки важливі для сучасної радіотехніки, що заслуговують більш докладного розгляду, та їм буде відведений наступний розділ.

Для найвигіднішого використання наступних каскадів і отримання рівномірної потужності по діапазону важливо також, щоб задає генератор створював на вхід наступного каскаду напруги збудження, не змінюваного зі зміненням робочої частоти. В окремих випадках для компенсації виходу

режиму подальшого каскаду в наслідок зміни його навантаження на різних частотах, навпаки, прагнути отримати закономірне збільшення або зменшення напруги на виході збудника по діапазону (рис.3.1).

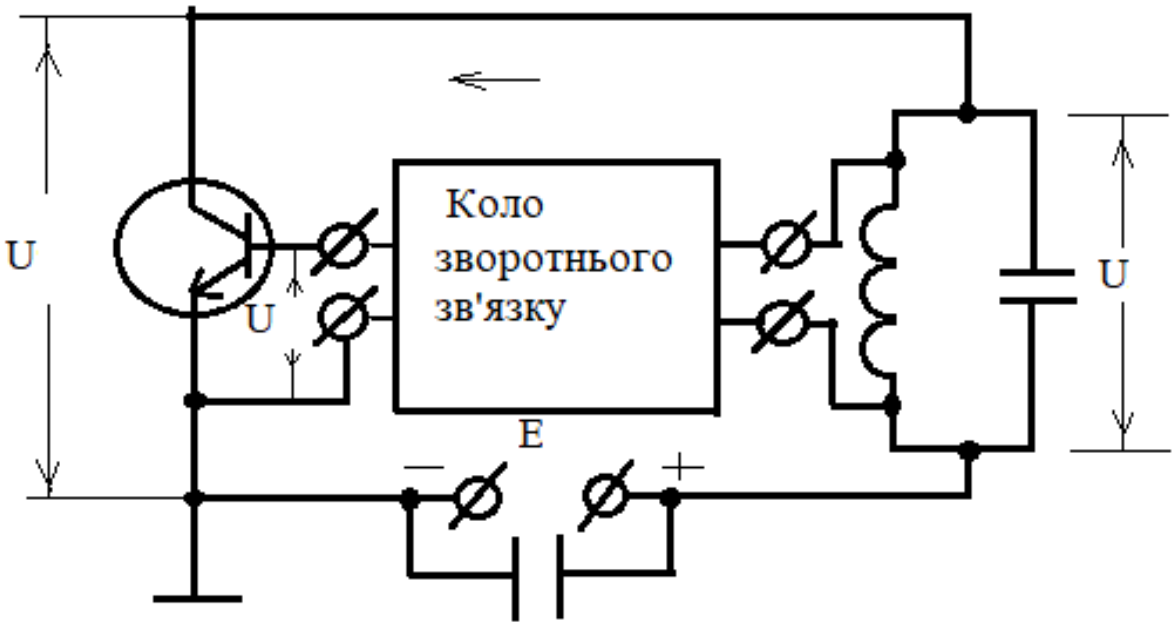


Рисунок 3.1- Загальна схема генератора з самозбудженням

Кожен автогенератор представляє собою автономну колебальну систему, коливання в якій виникають самі по собі але при найменших порушеннях електричної рівноваги в результаті включення функцій електричного струму в ланцюгах генератора. Ці початкові точки струму створюють електричні коливання в контурі, в колекторний ланцюг генератора. Частина напруги з нього по так званій ланцюга зворотного зв'язку підводиться до ділянки база-емітер транзистору. Коефіцієнт передачі ланки зворотнього зв'язку, показуючий, яка частка напруги з анодного навантаження передається на базу, називається коефіцієнтом зворотного зв’язку.

$$k = \frac{U_c}{U_k} k = \frac{U_c}{U_k}. \qquad (3.1)$$

Передане на сітку змінну напругу викликає зміни анодного струму. При виконанні певних умов змінна складова анодного струму буде посилювати початкові коливання в контурі, та виникне ланцюговий процес наростання коливань в системі.

Цей процес буде відбуватися до тих пір, поки анодний струм не перестане наростати внаслідок насичення або росту струмів бази (переходу в перенапружений режим), а також внаслідок того, що втрати в контурі, зростаючі пропорційно квадрату напруги на ньому, і енергія, відбираюча в коло бази, зрівнюється з енергією, приношеної контуру з електронним потоком.

Які ж умови треба виконати для отримання самозбудження в схемі?

Для збільшення коливань в контурі необхідно щоб електронний потік передавал контуру енергію, перевищуючу втрати в ньому, а це може бути виконано тільки якщо: 1) амплітуда змінної складової анодного струму буде не менше деякої граничної величини і 2) фаза змінної напруги на базі буде такою, що видозмінювальному під його впливом анодному струмі велика частина електронів буде пролітати через транзистор в гальмуючому полі контуру.

Перше так звана амплітудна умова самозбудження буде, очевидно, виконуватися тим легше, чим менше втрати в коливальній системі, тобто чим вище її добротність. Крім того, амплітуда змінної що стоїть її добротність. Крім того, амплітуда змінної складової анодного струму буде тим більше, чим більше напруга на сітці, тобто, чим більше коефіцієнт зворотного зв'язку і тим більша крутизна транзистору.

Первинний імпульс струму в контурі відповідно до теореми Фур'є можна представити як сукупність нескінченної кількості коливань безперервного спектра частот. З цього спектру виділятися і посилюватися будуть коливання тільки тієї частоти, для якої виконуються сформульовані вище умови підтримки коливання, але від частоти в першу чергу будуть

залежати фазові співвідношення в схемі. Отже, і навпаки друга фазове умова самозбудження буде визначати ту частоту коливань, які збудяться в схемі.

3.2 Можливі схеми реалізації задавальних генераторів

Транзисторні автогенератори.

Транзисторні автоколивальні тенератори (ТАГ) працюють за тим же принципом, що і лампові. Не дивлячись на це схеми ТАГ мають дві специфічні особливості.

Зсув на базу транзистора зазвичай буває комбінованим. Воно здійснюється за допомогою дільника напруги колекторного живлення (фіксоване зміщення) і за рахунок постійної складової струму бази або емітера (автоматичне зміщення). Необхідність в комбінованому зміщенні вітікає з особливостей транзисторів, які бувають відімкнуті при прямій і замкнені при зворотній напрузі на емітерному переході (рис.3.2).

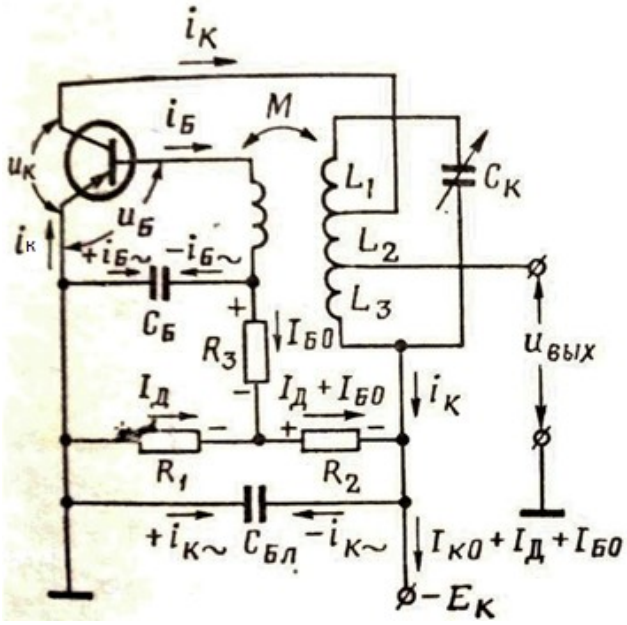


Рисунок 3.2 – Схема автогенератора з трансформаторним зворотнім зв’язком та комбінованим зміщенням

Коефіцієнт включення контуру в коло колектора значно менший аналогічного коеффріцієнта в лампових схемах.

Слабкий зв'язок контуру з вихідним колом транзистора необхідний з двух основних причин:

- для отримання оптимального режиму транзисторного авто- генератора потрібно мати еквівалентий опір контуру менше, ніж в ламповій схемі (зазвичай порядку сотень Ом);

- частота коливань, що генеруються в ТАГ, сильно залежить від нестабільних ємностей p-n переходів транзистора і цю залежність бажано послаблювати.

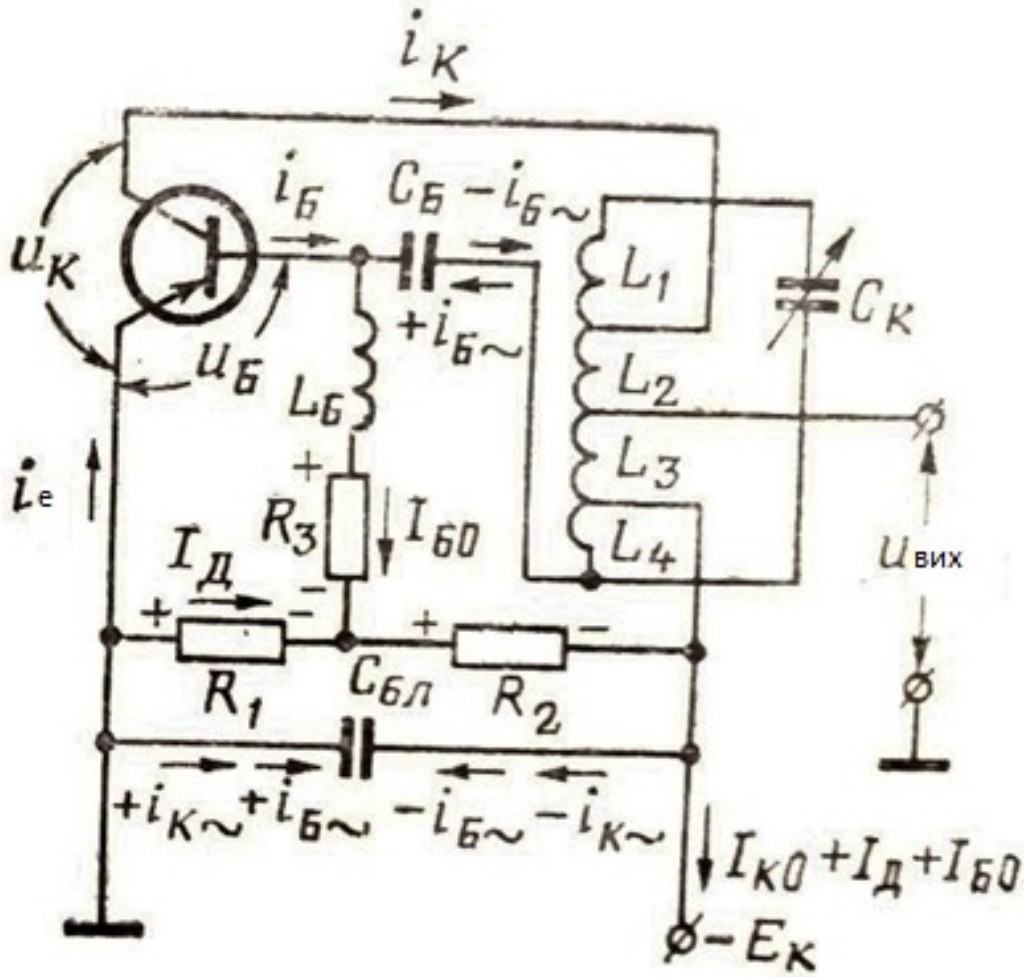


Рисунок 3.3 - Схема автогенератора з автотрансформаторним зворотнім зв’язком та комбінованим зміщенням

Типові схеми автогенераторів на транзисторах p-n-p з загальним емітером зображені на рис. 3.2, рис.3.3, рис.3.4 [15].

У цих схемах при включенні живлення на емітерний перехід виникає невелика пряма (негативна) напругу. Вона створюється на резисторі Ri струмом дільника. Тим самим обеспечується процес інжекції дірок з емітера в базу. Практично одночасно відбувається збудження автогенератора і з'является пульсуючий струм бази $i_б$ $i_б$, що витікає з транзистора. Постійна складова цього струму проходить через резистор Rз і створює на ньому позитивний зсув. По міру збільшення амплітуди коливань результуючий зсув на базі поступово зменшується до нуля, а потім стає зворотним по знаку, тобто позитивним.

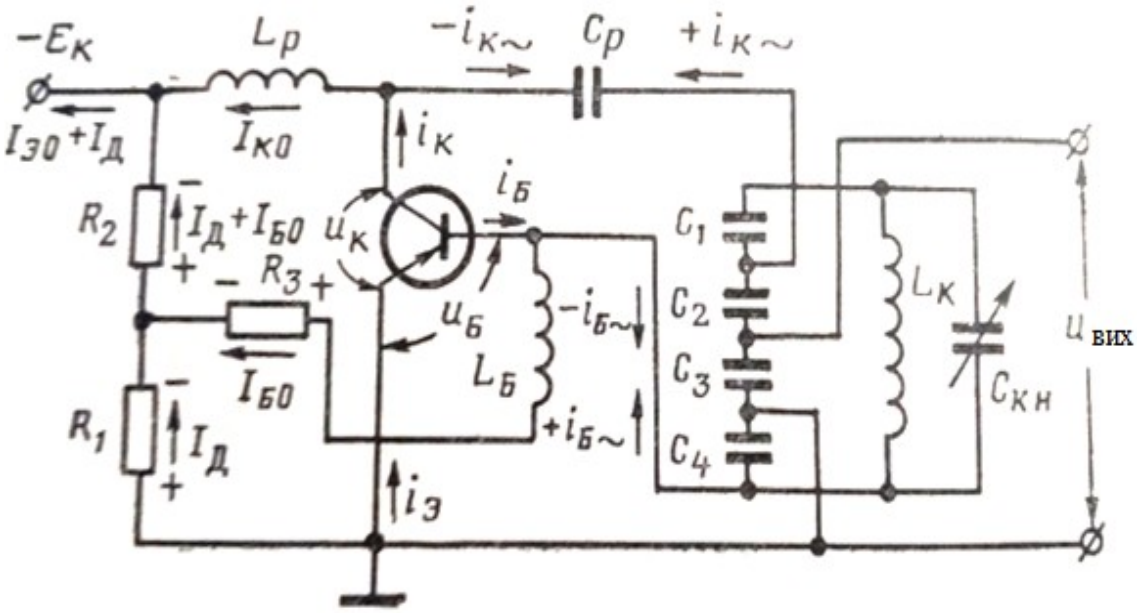


Рисунок 3.4 – Схема автогенератора з ємкісним зворотнім зв'язком та комбінованим зміщенням

Таким чином, фіксоване зміщення (за допомогою резисторів $R_1 R_1$ і R_2 R_2) забезпечує надійне самозбудження ТАГ, а автоматичне зміщення (за

допомогою резистора $R_з R_з$) здійснює переклад збудженого автогенератора в режим коливань другого роду. Зазвичай в сталому режимі кут відсічення коллекторного струму буває 60-80°. Отже, ТАГ працюють в режимі класу С.

3.3 Аналіз схем кварцевих генераторів на тунельних діодах

Ква́рцовий генера́тор - генератор змінної напруги, стабілізувальним елементом частоти якого є кварцовий резонатор чи п'єзоелемент. Відзначається високою температурною і тривалою стабільністю, низьким рівнем фазових шумів.

Частота власних коливань кварцового генератора може перебувати в діапазоні від декількох кГц до сотень МГц. Вона визначається фізичними розмірами резонатора, пружністю і п'єзоелектричної постійної кварцу, а також тим, як вирізаний резонатор з кристала. Так як кварцовий резонатор є закінченим електронним компонентом, його частоту можна змінювати зовнішніми елементами і схемою включення в дуже вузькому діапазоні вибором резонансної частоти (паралельний або послідовний) або знизити паралельно включеним конденсатором. Існують, однак, кустарні методики підстроювання резонатора. Це доцільно у випадках, коли бажано мати кілька резонаторів з дуже близькими параметрами. Для зменшення частоти на кристал короткочасно впливають парами йоду (це збільшує масу срібних обкладок), для збільшення частоти обкладання резонатора шліфують.

У 1997 році компанія Epson Toyocom випустила в світ серію генераторів SG8002, в конструктиві яких присутні блок підлаштування конденсаторів і два подільника частоти. Це дозволяє отримати практично будь-яку частоту в діапазоні від 1 до 125 МГц. Однак дане гідність неминуче тягне за собою недолік - підвищений джиттер (фазовий шум) [16].

Аналіз схем генераторів на тунельних діодах.

В даний час, у зв'язку з мініатюризацією радіоелектронних пристроїв, відбулися великі зміни в елементній базі, а персональні комп'ютери зробили

переворот в можливостях досліджень, методах і швидкості розрахунку і проектування радіотехнічних пристроїв і систем. У зв'язку з цим доцільно повернутися до дослідження генераторів на ТД, а також з урахуванням того, що ТД, як активний елемент, має низку унікальних властивостей, в порівнянні з біполярними і польовими транзисторами, а саме такими як:

а) наявність падаючого ділянки вольт-амперної характеристики (ВАХ), де його опір негативно, а нелінійні властивості дозволяють забезпечити обмеження амплітуди коливань;

б) високою стабільністю ВАХ і його еквівалентних параметрів при впливі радіації і температури;

в) здатністю працювати на досить високих частотах, аж до десятків ГГц;

г) низьким рівнем внутрішніх шумів, малим споживанням енергії, малими вагою і габаритами і тривалим терміном служби [17].

Для генераторів з кварцовими резонаторами (КР) використовувалися ТД зі значенням струму порядку 1мА, для яких максимальне негативне опір не перевищувало величини порядку 100Ом. Паралельний контур, який є навантаженням ТД, для роботи генератора в осциляторний режимі повинен мати еквівалентний опір Re менше (80 - 100)Ом, щоб схема без КР не порушували. При підключенні ж кварцового резонатора його опір Re має збільшитися на резонансній частоті резонатора і стати більш 100Ом, тільки в цьому випадку виникнуть коливання, стабілізовані КР. Однак необхідно мати на увазі, що при використанні ТД з настільки малим значенням максимального струму вихідна потужність генератора теж виявляється малої. З точки зору старіння КР і довготривалої стабільності частоти це добре, а з точки зору зменшення фазових шумів необхідно навпаки амплітуду вихідного сигналу збільшувати. Тому доцільно провести дослідження можливості використання ТД з великими значеннями струму, а саме аж до 3-хмА, коли максимальне значення негативного опору не перевищує (30 - 50)Ом [18].

Побудова задавального генератора на ТД.

Для дослідження генератора використовуємо відомі з умови збудження автогенератора, з яких отримують відповідно баланс амплітуд і баланс фаз. Комплексне рівняння генератора на ТД в найзагальнішому вигляді має вигляд

$$- Z_e \cdot YД1 = 1, \qquad (3.3)$$

Запишемо множники цього виразу в показовою формі

$$Z_e = Z_e e^{j\varphi z}, \; YД1 = |YД1| e^{j\varphi Д1}, \; -1 = e \pm j\pi, \qquad (3.3)$$

Виділяючи з комплексного рівняння дійсну і уявну частини з урахуванням сомножителей в показовою формі, отримаємо вирази для балансу амплітуд і балансу фаз:

а) рівняння балансу амплітуд

$$Z_e \cdot |YД1| = 1, \qquad (3.4)$$

б) рівняння балансу фаз

$$\varphi Д1 + \varphi Z = \pm \pi, \qquad (3.5)$$

Щоб останнє рівняння записати у вигляді рівності $2\pi n$, де $n = 0,1,2 ...$, як для автогенераторів на транзисторах, необхідно $\varphi Д1$ замінити на $\varphi' Д1 = \varphi Д1 \pm \pi$.

В результаті отримуємо рівняння балансу фаз у вигляді

$$\varphi' Д1 + \varphi Z = 0, 2\pi. \qquad (3.6)$$

Використовуючи рівняння балансу амплітуд і балансу фаз, побудуємо області збудження для генератора [19].

Методика побудови областей збудження генератора.

Під областю збудження автогенератора будемо розуміти функцію коефіцієнта регенерації (запасу по стійкості) в залежності від будь-якого змінного параметра генератора, яка завжди забезпечує виконання умови балансу фаз. Область збудження може бути побудована наступним чином.

1. З рівняння балансу фаз визначаємо величину реактивного опору, зокрема індуктивності контуру LК в функції від розладу кварцового резонатора ξК.

2. Потім кожне значення ξК і LК підставляємо в рівняння для балансу амплітуд, в результаті чого для кожного значення ξК знаходимо величину коефіцієнта запасу по стійкості. Таким чином, будуємо функції LК = f (ξК) і Z_e = f (ξК).

3. Для побудови області збудження необхідно, за допомогою виключення загального параметра ξК, зробити перерахунок вищенаведених функцій, розрахованих для конкретних параметрів схеми генератора, в функцію Z_e = f (LК).

4. Ставлячи дискретні параметри для різних елементів схеми, будуємо області збудження, за допомогою яких аналізуємо режими роботи генератора. [20]

Раніше розрахунок і побудова областей збудження генераторів на обчислювальних машинах «Мінськ 220» і «Мир» займали, як мінімум, кілька днів. В даний час з використанням сучасних персональних комп'ютерів і спеціалізованих програм до нього, такий розрахунок може бути виконаний в лічені хвилини. Це значно спрощує і інженерні розрахунки, коли, вибравши на побудованих областях збудження оптимальну область, є можливість відразу отримати розрахункові параметри елементів схеми.

Обгрунтування вибору схеми кварцового генератора на тд

Схема ВЧ кварцового генератора [1, 2] представлена на рис 3.5.

В даній схемі кварцовий резонатор підключений безпосередньо до ємності контуру. Тому мінімальним значенням ємності контуру може служити його статична ємність, що забезпечує можливість порушення кварцового резонатора на більш високих частотах в порівнянні з іншими схемами.

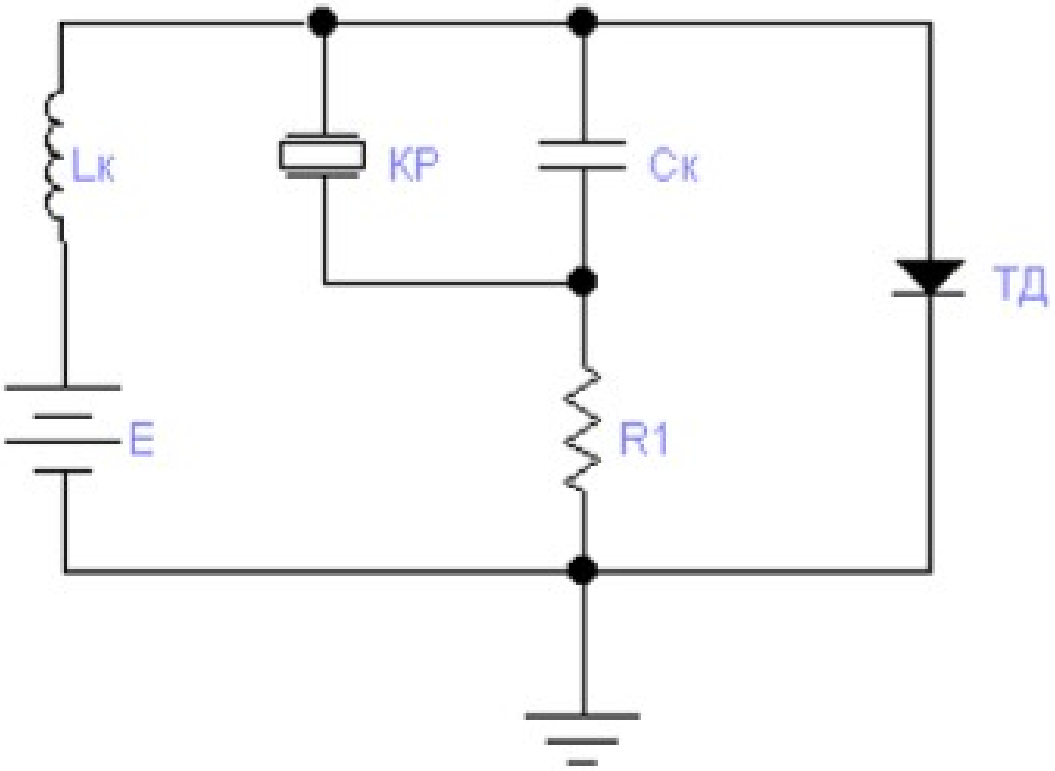


Рисунок 3.5- Схема ВЧ кварцового генератора

Порівняємо цю схему з іншими. Певною бруківці схемою кварцовий резонатор включений в одну з діагоналей моста, в іншу діагональ якої підключається ТД. У два плеча моста включені реактивності L і C, які утворюють паралельний контур щодо вхідних висновків ТД, а в два інших плеча включені активні опори [21].

Відомі ще дві схеми, які є окремим випадком мостової схеми, і виходять шляхом закорочування по високій частоті відповідних резисторів моста. Наявність, крім ємності контуру паразитних ємностей кварцового резонатора

і тунельного діода, не дозволяють в цих схемах, а також в мостовій схемі порушувати кварцові резонатори на частотах вище (30 - 50) МГц.

Алгоритм розрахунку областей збудження

Оскільки добротність КР на частотах до (150 ... 200) МГц досить висока і становить близько (10 ... 50) тис., То можна вважати, що в межах розладу частоти КР величини реактивних опорів постійні і не змінюються.

Для розрахунку умов збудження коливань в автогенераторі була написана математична програмна модель автогенератора з п'єзоелектричним резонатором в ємнісний гілки коливального контуру в середовищі математичного моделювання Mathcad (табл. 3.1). Нижче наведена програма, що дозволяє отримати умови збудження автогенератора, зокрема баланс фаз і амплітуд, відповідно до яких розраховуються області збудження. Варіації конкретних числових значень параметрів дозволяють провести аналіз впливу різних параметрів схеми генератора на форму областей збудження, а отже, і на його режим роботи [22].

Таблиця 3.1- Параметри для побудови областей збудження

№№ п/п	τ_0	R_{nk}	R1	ωCk
1	0,05 0,1 0,15 0,2 0,25	50	20	0,04
2	0,15	40 50 60 70 80	20	0,04
3	0,15	50	18 19 20 21 22	0,04
4	0,15	50	20	0,025 0,03 0,04 0,05 0,055

$$Zkv(\xi k, \tau_0, Rnk) = \frac{Rnk \cdot (1 + i \cdot \xi k)}{1 - \tau_0 \cdot \xi k + i \cdot \tau_0} \qquad Zk(\xi k, \tau_0, Rnk, \omega, Ck) := \frac{Zkv(\xi k, \tau_0, Rnk)}{\left(Zkv(\xi k, \tau_0, Rnk) + \frac{1}{i \cdot \omega Ck}\right) \cdot i \cdot \omega Ck}$$

$$Z1(\xi k, \tau_0, Rnk, R1, \omega, Ck) := Zk(\xi k, \tau_0, Rnk, \omega, Ck) + R1$$

$$Zo(\xi k, \tau_0, Rnk, R1, \omega, Ck, \omega, Lk) := \frac{i \cdot \omega Lk \cdot Z1(\xi k, \tau_0, Rnk, R1, \omega, Ck)}{i \cdot \omega Lk + Z1(\xi k, \tau_0, Rnk, R1, \omega, Ck)}$$

$$Zo(\xi k, \tau_0, Rnk, R1, \omega, Ck, \omega, Lk) \rightarrow i \cdot \omega Lk \cdot \frac{(-i) \cdot Rnk \cdot \frac{1 + i \cdot \xi k}{(1 - \tau_0 \cdot \xi k + i \cdot \tau_0) \cdot \left(Rnk \cdot \frac{1 + i \cdot \xi k}{1 - \tau_0 \cdot \xi k + i \cdot \tau_0} - \frac{i}{\omega Ck}\right) \cdot \omega Ck} + R1}{i \cdot \omega Lk - i \cdot Rnk \cdot \frac{1 + i \cdot \xi k}{(1 - \tau_0 \cdot \xi k + i \cdot \tau_0) \cdot \left(Rnk \cdot \frac{1 + i \cdot \xi k}{1 - \tau_0 \cdot \xi k + i \cdot \tau_0} - \frac{i}{\omega Ck}\right) \cdot \omega Ck} + R1}$$

$$Func(\xi k, \tau_0, Rnk, R1, \omega, Ck, \omega, Lk) = \begin{vmatrix} a_0 \quad Re(Zo(\xi k, \tau_0, Rnk, R1, \omega, Ck, \omega, Lk)) \\ a_1 \quad Im(Zo(\xi k, \tau_0, Rnk, R1, \omega, Ck, \omega, Lk)) \\ a \end{vmatrix}$$

$$Reel(\xi k, \varsigma_0, Rnk, R1, \omega Ck, \omega Lk) = Func(\xi k, \varsigma_0, Rnk, R1, \omega Ck, \omega Lk)_0 \begin{vmatrix} complex \\ simplyfi \end{vmatrix} \rightarrow$$

$$Imaging(\xi k, \varsigma_0, Rnk, R1, \omega Ck, \omega Lk) = Func(\xi k, \varsigma_0, Rnk, R1, \omega Ck, \omega Lk)_1 \begin{vmatrix} complex \\ simplyfi \end{vmatrix} \rightarrow$$

$$Imaging(\xi k, \tau_0, Rnk, R1, \omega, Ck, \omega, Lk) = 0 \qquad Xlm(\xi k, \tau_0, Rnk, R1, \omega Ck) := Find(\omega Lk)$$

$$D(\xi k, \tau_0, Rnk, R1, \omega, Ck) = Reel(\xi k, \tau_0, Rnk, R1, \omega, Ck, Xlm(\xi k, \tau_0, Rnk, R1, \omega, Ck)_0, 0)$$

Згідно з наведеними в табл. 3.1 параметрами розраховані графіки областей збудження, які представлені на рис. 3.6, рис. 3.7. З таблиці видно, що саме параметр змінюється на відповідних малюнках і до якої деформації області збудження це призводить. На рис. 3.6 при збільшенні параметра високочастотні τ область збудження зміщується в бік зменшення максимального значення опору. Це означає, що є можливість використання ТД з більшою амплітудою і отримання більшої вихідної потужності. Однак при цьому знижується величина коефіцієнта регенерації, що, в свою чергу, викликає зменшення колебательной потужності. Тому необхідно вирішувати це завдання не в загальному вигляді, а конкретно для кожного випадку [23].

Rnk = 50 Ом

R1 = 20 Ом

ωCk = 0.04

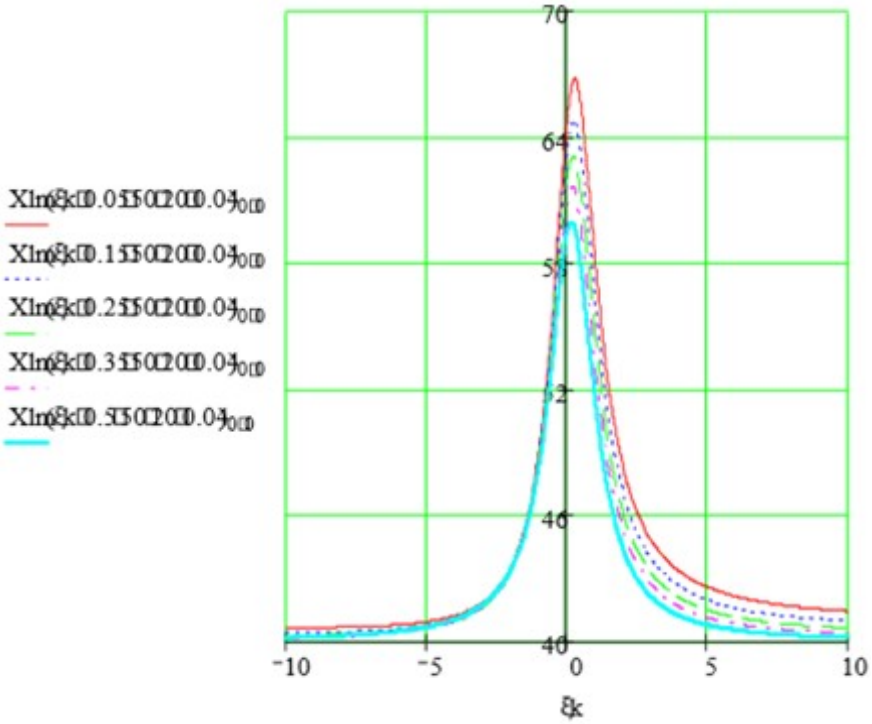


Рисунок 3.6 - Області збудження при різних значеннях параметра(початок)

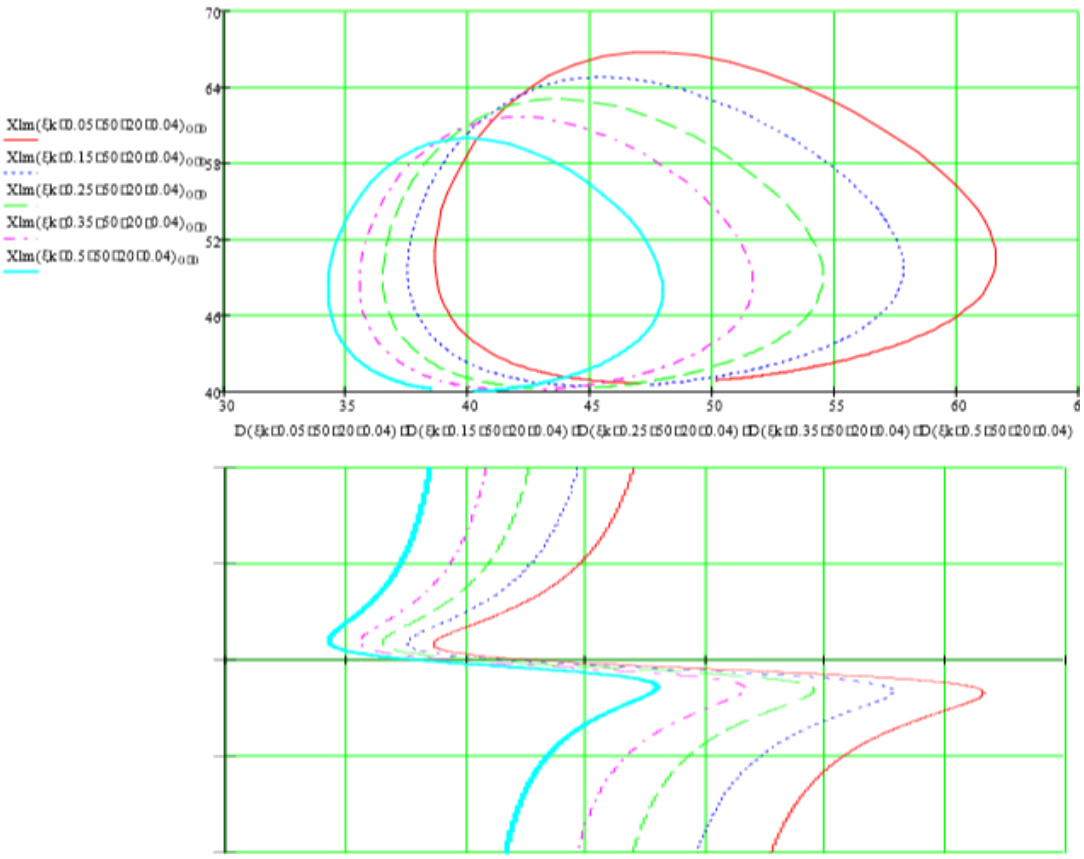


Рисунок 3.7 - Області збудження при різних значеннях параметра(кінець)

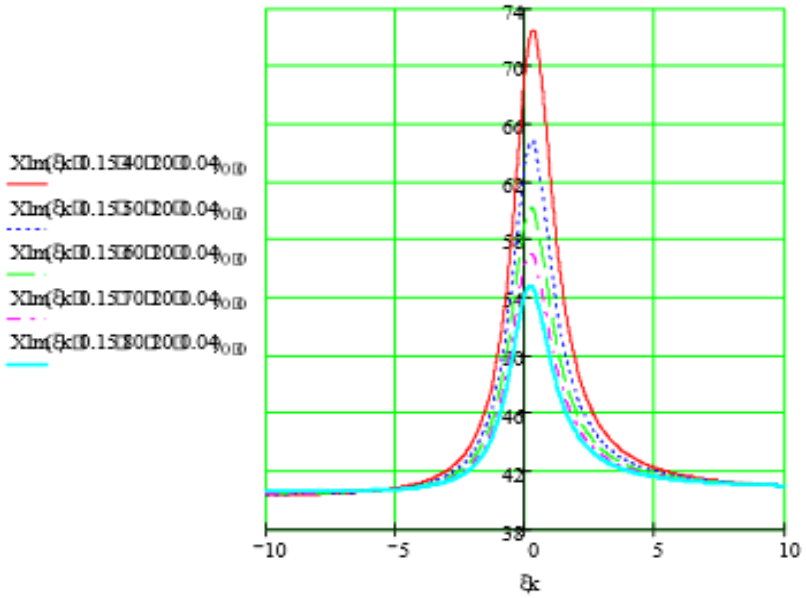
На рис.3.7 представлені області збудження при зміні величини опору кварцового резонатора Rnk. При збільшенні опору кварцового резонатора, як відомо, падає коефіцієнт регенерації і звужується область збудження, що підтверджується і в даному випадку. При звуженні області збудження погіршуються умови для порушення кварцових резонаторів. Однак слід зазначити, що при зміні опору Rnk кварцового резонатора в два рази схема залишається працездатною. Це означає, при виході з ладу кварцового резонатора він цілком може бути замінений іншим резонатором з аналогічними параметрами.

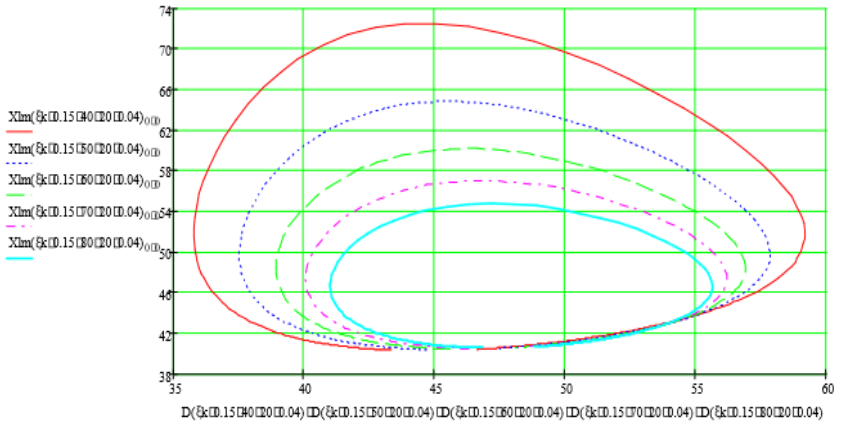
Представлені на рис.3.5 області збудження показують вплив опору, включеного в одне з плечей моста, яке забезпечує стійкість схеми генератора без кварцового резонатора. При цьому еквівалентний опір контуру має бути менше величини негативного опору ТД по модулю. Як видно з аналізу

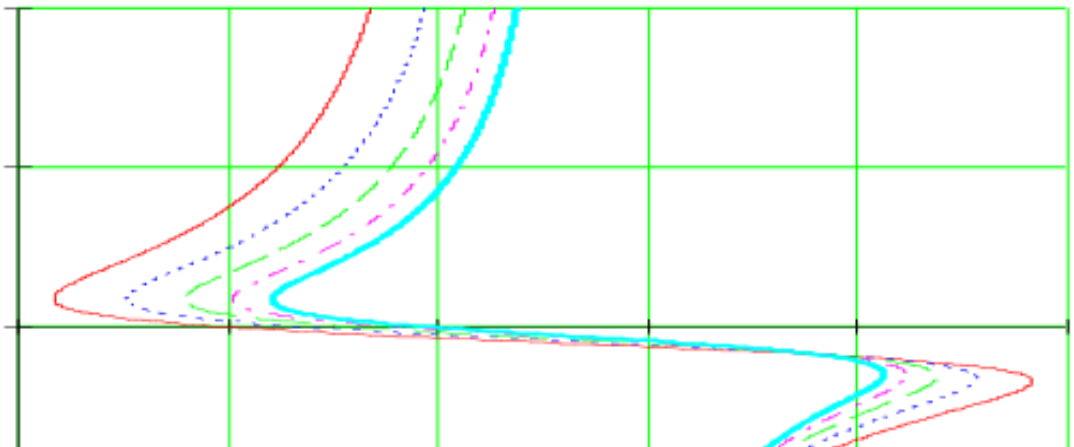
областей збудження, зміна величини опору в межах ± 10% мало впливає на стійкість схеми і величину амплітуди коливань.

На рис. 3.8, наведені області збудження при зміні величини ємнісний провідності контура дещо більше, ніж в два рази. Як видно з деформації і зміщення областей збудження, зміна величини ємності контуру має найбільший вплив на умови збудження генератора. Збільшення величини ємності може легко привести до зриву коливань в генераторі.

При збільшенні опору кварцового резонатора, як відомо, падає коефіцієнт регенерації і звужується область збудження, що підтверджується і в даному випадку. При звуженні області збудження погіршуються умови для порушення кварцових резонаторів. Однак слід зазначити, що при зміні опору Rnk кварцового резонатора в два рази схема залишається працездатною. Це означає, при виході з ладу кварцового резонатора він цілком може бути замінений іншим резонатором з аналогічними параметрами [24] (рис. 3.9, рис. 3.10).


74
70
66
62
58
54
50
46
42
38
−10
−5
0
5
10


74
70
66
62
58
54
50
46
42
38
35
40
45
50
55
60



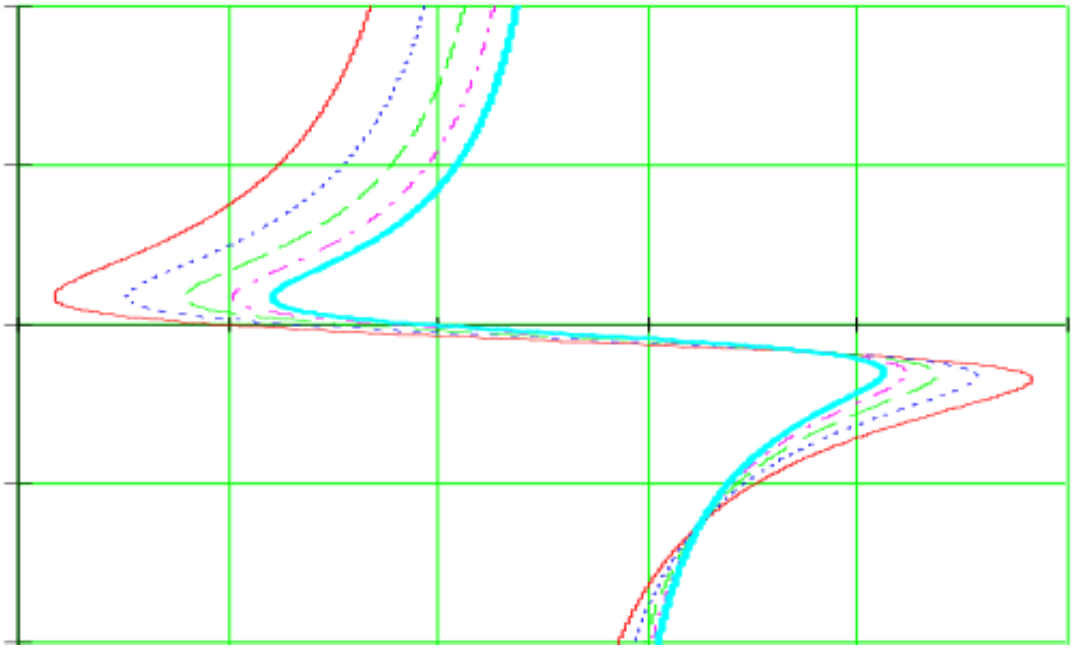
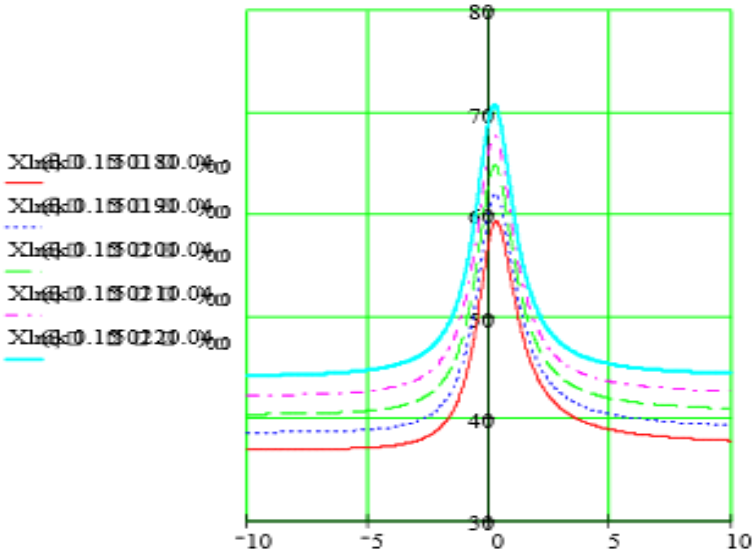


Рисунок 3.8 - Області збудження при різних значеннях параметра Rnk

τ0 = 0.15 R1 = 20 Ом ωCk = 0.04



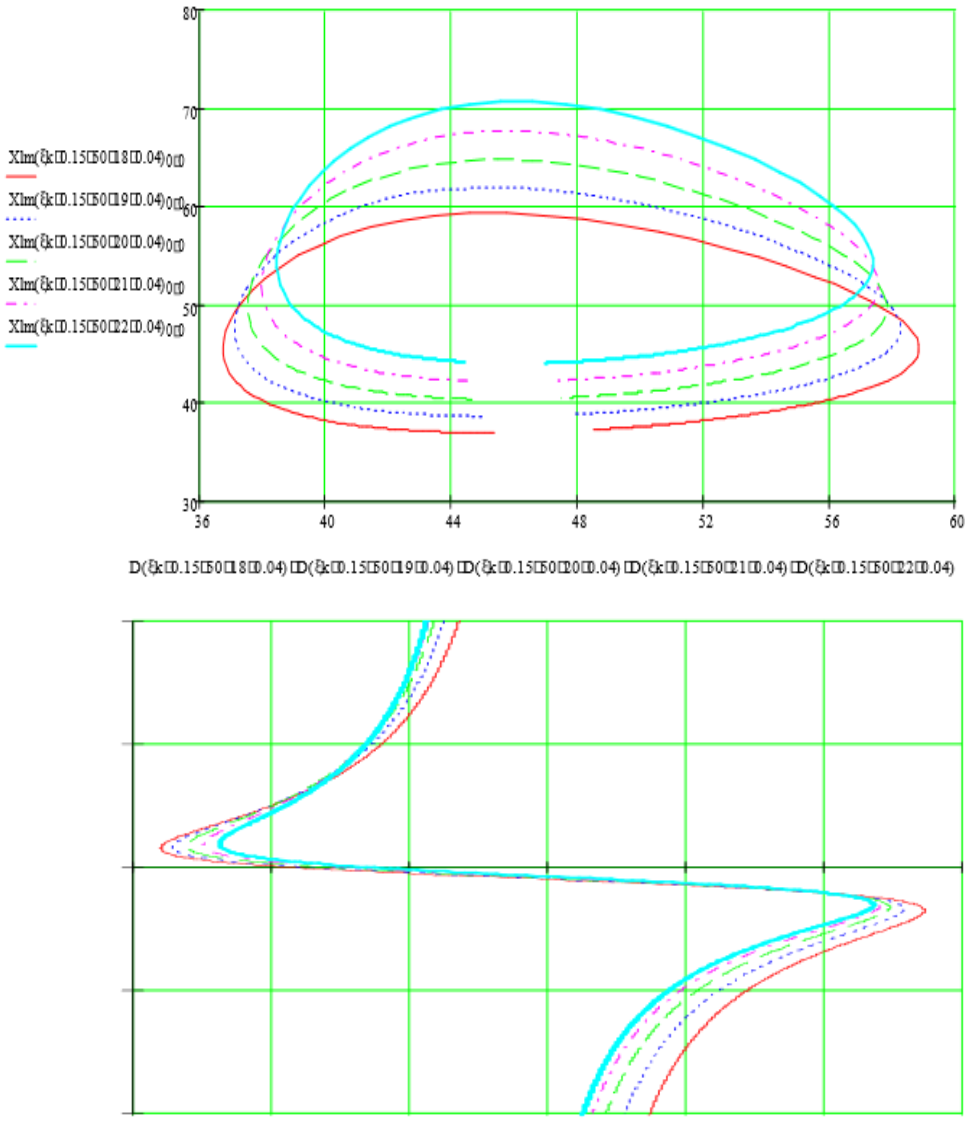
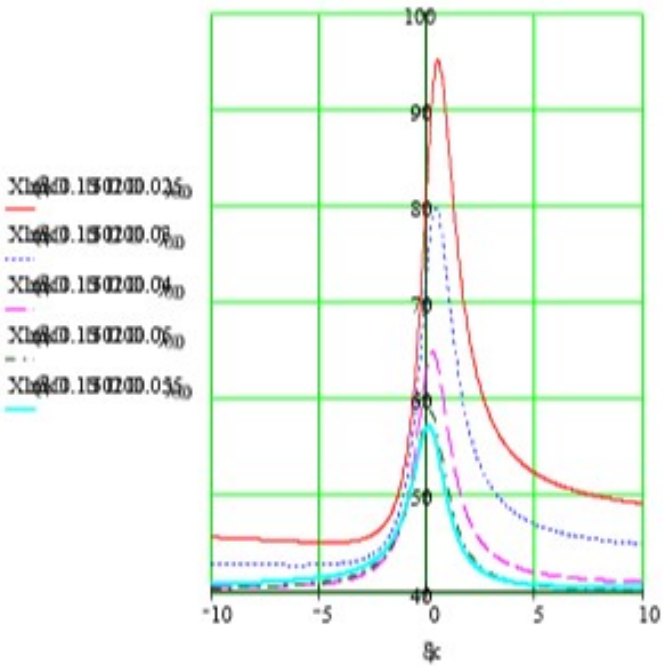


Рисунок 3.9 - Області збудження при різних значеннях параметра R1



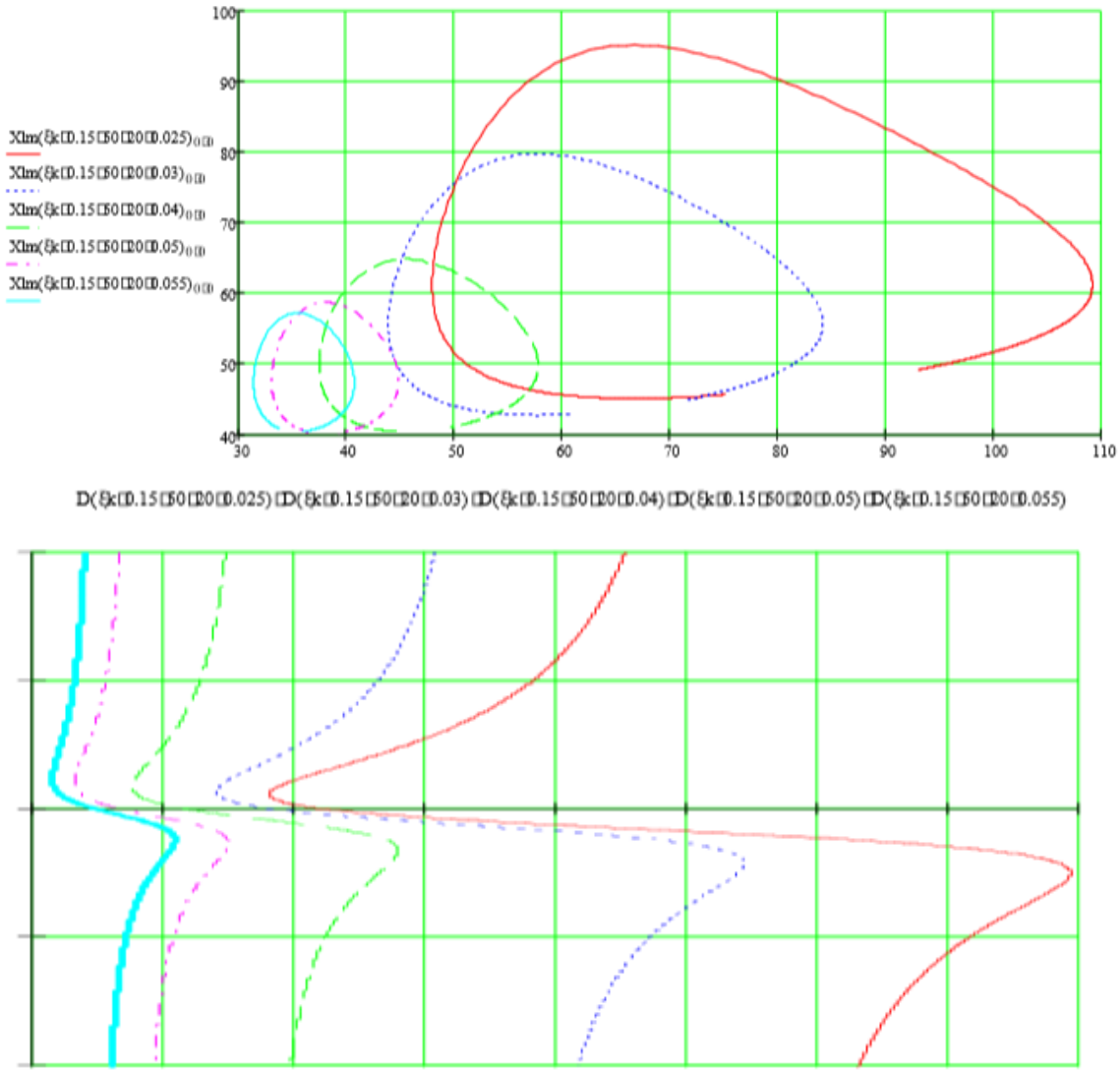


Рисунок 3.10 - Області збудження при різних значеннях параметра ωCk

τ0 = 0.15 Rnk = 50 Ом R1 = 20 Ом

Як показав аналіз даних графіків, генератори на ТД з п'єзоелектричними резонаторами збуджуються на частотах близько 150 ... 200МГц, що випливає з рис.3.7, причому збудження забезпечується не тільки на ТД з струмом 1 мА, а й на ТД з струмом до 3мА, що володіють меншою величиною негативного опору (аж до 50Ом) і забезпечують більшу величину коливальної потужності. Необхідно також відзначити, що в автогенераторах на ТД зазвичай не працюють на вищих гармоніках кварцового резонатора, оскільки виникають паразитні коливання. В даний час розроблені і серійно випускаються малогабаритні резонатори зі зворотним мезоструктур з частотою першої гармоніки до 200МГц, які в цьому випадку доцільно використовувати.

Відповідно до програми розрахунку і побудованих областей збудження уявімо найпростішу інженерну методику розрахунку високочастотного генератора з кварцовим резонатором. Розрахуємо автогенератор на частоту 160МГц на ТД AI101B з струмом $I_{мах}$ = 2мА і величиною максимального негативного опору порядку (45 ... 55) Ом. Будемо вважати, що кварцовий резонатор має наступні параметри: добротність Q = 50тис., C_0 = 3пФ, Rq = 50Ом.

Для конкретного вибору області збудження розрахуємо параметр високочастотні τ0= ωC0 Rq.

$\tau_0 = 2\pi f\, C_0\, Rq = 2 * 3{,}14 * 160 * 10^6\, 10^6 * 3 * 10^{-12}\, 10^{-12} * 50 = 0{,}15$

Використовуючи графіки областей збудження (рис. 5.4.4), для τ0 = 0,15 визначаємо інші параметри: ωСК = 0,04 1/Ом; R1 = 20 Ом и XL = 50 Ом, що забезпечить амплітуду коливань, близьку до максимального значення для негативного опору ТД, рівного (45 ... 55) Ом. З наведених вище даних знайдемо параметри контуру СК и XL:

СК = 0,04/2πf = 0,04/6,28 *160*106 = 4.10-12 Ф = 4 пФ; LК = 50/2πf = =50/6,28 * 160*106 = 0,05.10-9 Гн = 50 нГн.

Розрахунок активних опорів ланцюга живлення для забезпечення необхідної робочої точки на ВАХ ТД тут не розглядається, оскільки досить простий і не повинен викликати труднощів.

Використання эфекту Допплера для визначення швидкісних характеристик метеоцілей вимагають забеспечення высокої стабільності несучої частоти радіолокатора. Ця вимога приводить к необхідності використання високостабільних по частоті задавальних генераторів. На даний час найбільш перспективним являється побудова задаючих генераторів з тунельним діодом в якості активного елементу и термостатированого кварцового резонатору.

В розділі запропоновано принципіальна схема такого генератора [25].

ВИСНОВКИ

Використання ефекту Допплера для визначення швидкісних характеристик метеоцілей вимагають забеспечення високої стабільності несучої частоти радіолокатора . Ця вимога приводить до необхідності використання високостабільних по частоті задавальних генераторів. На даний час найбільш перспективним являється побудова задаючих генераторів з тунельним діодом в якості активного елементу и термостатированого кварцового резонатору.

Таким чином приведений аналіз показує , що використання радіолокаційних методів дозволяє збільшити зону виявлення різноманітних метеоявищ та повисити точність визначення їх характеристик.

Найбільший ефект по критерію ціни реефективність для отримання оперативної метеорологічної інформації дають радіолокатори малої дальності з когеренто-імпульному опрацюванню сигналу. Використання таких радіолокаторів дозволяє:

-вимірювати дальність до об’єктів;

-визначати швидкісні характеристики метеооб’єктів;

-економити кошти на отримання радіолокаційної інформації;

-не порушувати екологічну обстановку.

Використання ефекту Допплера для визначення швидкісних характеристик метеоцілей вимагають забеспечення високої стабільності несучої частоти радіолокатора . Ця вимога приводить до необхідності використання високостабільних по частоті задавальних генераторів. На даний час найбільш перспективним являється побудова задавальних генераторів з тунельним діодом в якості активного елементу і термостатированого кварцового резонатору.

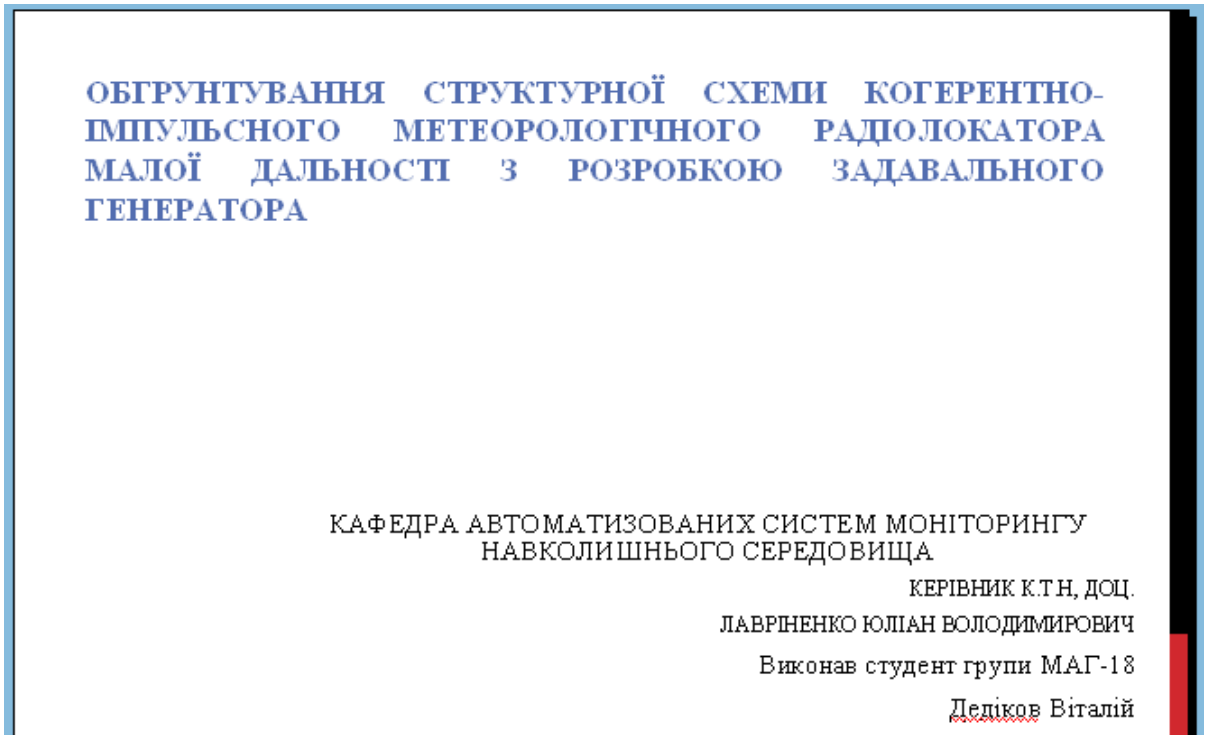
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ

1. Керівництво по виробництву спостережень з метеорологічних радіолокаторів. Під ред. Г.Б. Брилева Ленінград. Гидрометеоиздат.1974. 335с.
2. Н.Ф. Павлов. Аерологія, радіометеорологія та техніка безпеки. Ленінград Гидрометеоиздат 1980. 434с.
3. Основи радіолокації М. ОСССР. М. 1983. 456с.
4. Радіопередаючі прилади на напівпровідникових приборах. Під ред. Р.А. Валітова та І.А. Попова. 1973. 463с.
5. Молчанов Є. Г., Очок Д. С., Силаєв Є.І., Формальне І. С. Результати експериментальних досліджень фазових шумів сигналів гетеродинів когерентних РЛС // Радіотехніка. 2008. 175 с.
6. Зуйков В. А., Клочко Г. І., Колісниченко М. В. та ін. Приймально-передавальний модуль міліметрового діапазону довжин хвиль // Технологія і конструювання в електронній апаратурі. 2003. 213 с.
7. Євдокимов А. І., Комяк В. А., Мележик І. Н. та ін. Когерентний радіолокатор міліметрового діапазону для огляду льотного поля // Прикладна радіоелектроніка. 2003. 443 с.
8. Довідник по радіолокації. Т. 3 / Под ред. М. Сколнік.- М .: Сов. Радіо, 1979. 232 с.
9. В. 3. Кацнельсон Н.И.Тимченко В. В. Волков, Ленинград. Гидрометеоиздат. 1985. 305с
10. Андреев В.С., Попов В.И., Федотов А.Я., Фомин Н.Н. Генераторы гармонических колебаний на туннельных диодах. - М.: Энергия, 1972. 342с.
11. Овчаренко В.В., Овчаренко Н.Ф. Новые схемы кварцевых генераторов на туннельных диодах с кварцем в емкостной ветви контура // Радиотехника. 1970. -Т. 25. № 2. 278с.

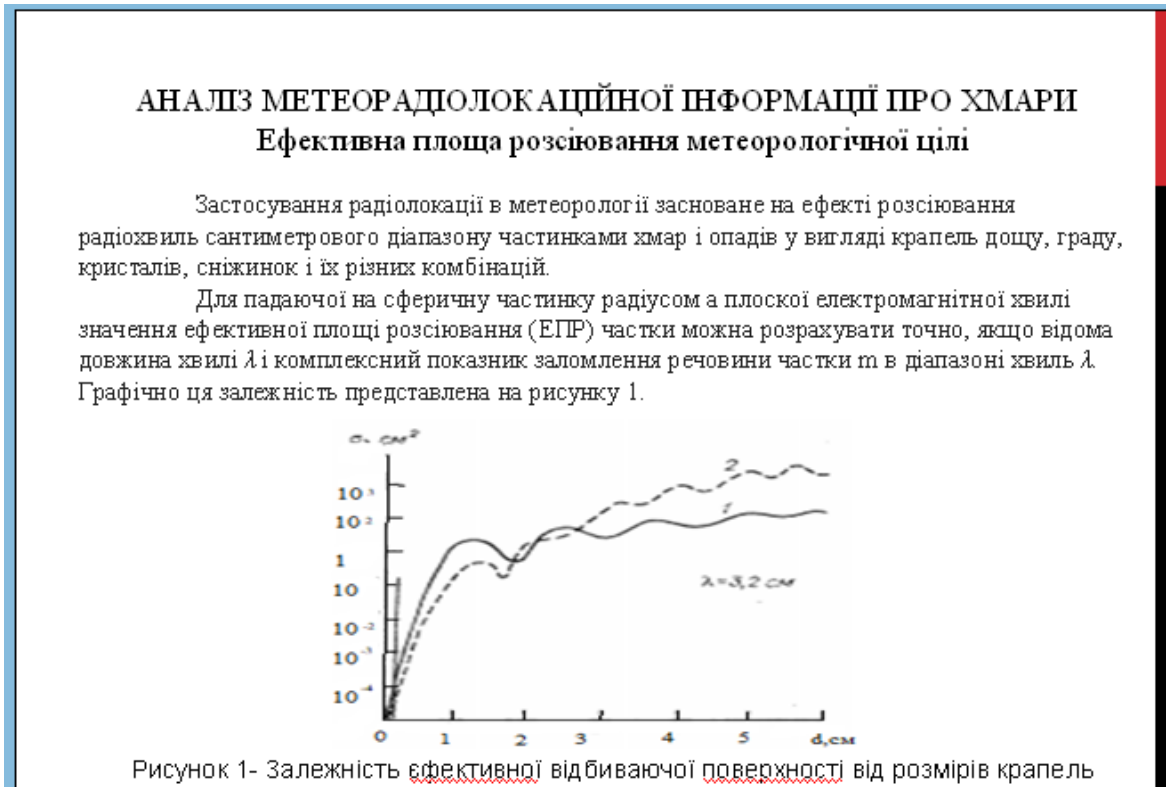
12. Frerking M. E Crystal Osellators. Design and Temperature Compen- bationN. Y: Van Nostrand Relnhold Company, 1978. P. 240c.
13. Handbook of Modern Electronics and Electrical Engineering. Ed. Dn Chlef Ch. Belove.- N, Y. John Wiley and Sons, 1986. 230c.
14. Jakubaschk H. Das große Schaltkreis-Bastekbuch.-Berlin: Militarverlag der DDR (VEB), 1984. 325c.
15. Kuhn E. Handbuch TTL und CMOS Schaltkreise.-Berlin: VEB Technik, 1985.351c.
16. Loveday G. C. Essential Electronies: an A to Z gulde.-London: Pitman, 1982. 168c.
17. Markus J. Popular Cireults Ready Reference-N. Y McGraw Hill Book Company, 1982. 365c.
18. Marston R. CMOS P. 77-80
19. Schlenzig K, Blasing K.H. Elektronik bastela mit dem Alleskonner 555- Berlin: Mililarverlag der DDR (VEB), 1986. 235c.
20. Schlenzig K. Jung D. Mikroelektronik für Praktiker Berlin: Technik, 1985. 368c.
21. Sichla F Ensalzbeispiele far CMOS Schaltkrese- Berlin Milllarveriag der DDR (VEB), 1988. 635c.
22. Zbar P B, Malvino A Basis Electronics, Sth ed- N Y McGraw Hill Book Company, 1983. 236c.
23. ПО Зелдін Е А Тріггери.-М .. Енергоятомнада7, 1983. 96 с.
24. Clrculls Гor Electronics Engineers Ed. by S. Weber.- N. Y. MeGraw. Hill Book Company, 1977. 287c.
25. Довідник по мікроелектронной імпульсної техніки / Яковлєв В. Н., Воскресенскій В. В. Мірошнічейко С. І. ва В. Н. Київ: Техніка, 1983. 359 с.

Додаток А

Графічна частина магістерської



Додаток А1 – Тема тоботи



Додаток А2 – Ефективна площа розсіювання метеорологічної цілі

Рівняння дальності радіолокаційного спостереження хмар і опадів пов'язує між собою технічні характеристики РЛС, параметри метеорологічних цілей, що визначають їх відображають властивості, ідальність виявлення. Для отримання рівняння дальності радіолокації хмар і опадів скористаємося основним рівнянням радіолокації для точкової мети і підставимо в нього вираз для ЕПР метеоцілі, що складається з однакових сферичних частинок. В результаті підстановки отримаємо

$$P_{пр} = \frac{P_и G S_A \pi^4 \theta^2 c \tau_и}{128 \lambda^4 D^2} N d^6 \left| \frac{m^2 - 1}{m^2 + 2} \right|^2$$

Де P_i – імпульсна випромінювальна потужність;
G – ККД антени;
0 – ширина діаграми направленості;
3 – швидкість поширення радіохвиль;
T_ε – тривалість імпульсу;
D – діаметр відбиваючих частинок;
т – комплексний коефіцієнт заломлення речовини частинок;
S_A- ефективна площа антени.

Додаток А3 – Рівняння дальності радіолокаційного спостереження

Обмеження радіолокаційного методу спостережень

Починаючи з відстані 100 км від радіолокатора, частина хмар не буде їм виявлятися через те, що їх вершини будуть лежати нижче лінії радіогоризонту. З цієї причини за допомогою радіолокатора на відстанях понад 100-120 км не можна виміряти інтенсивність опадів.

Наявність високих місцевих предметів (будівлі, вежі, сопки) навколо радіолокатора створює кути закриття, часто набагато перевищують нульові. У зв'язку з цим збільшується мінімальна висота виявлення хмарності, розташованої в азимут високих місцевих предметів.

Рисунок 2 – Обмеження дальності спостережень через кривизну Землі

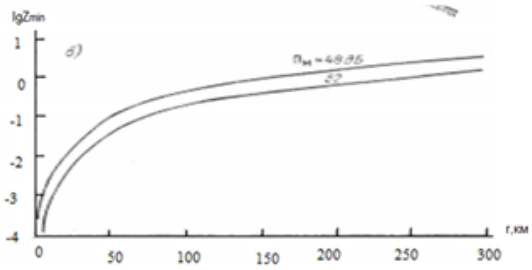


Рисунок 3 – Обмеження дальності спостережень через відносну відбиваність

Додаток А4 – Обмеження радіолокаційного методу спостережень

Таким чином, метеорологічний радіус виявлення хмар і опадів визначається:
- метеорологічним потенціалом ПМ;
- відбиваності хмар 2;
- висотою хмар Н, величина яких більше 2 т | П (г);
- дальністю прямої видимості радіолокатора;
- вимогами до точності інформації радіолокатора в дискретних елементах простору.

Рекомендований радіус виявлення хмар і опадів з максимальної точності інформації визначається насамперед дальність радіогоризонту і становить:

$$r_{\text{пр.вид,км}} = 4{,}12(\sqrt{h_{\text{а,м}}}+\sqrt{h_{\text{обл,м}}}).$$

Таким чином приведений аналіз показує , що використання радіолокаційних методів дозволяє збільшити зону виявлення різноманітних метеоявищ та збільшити точність визначення їх характеристик.

Додаток А5 – Формула метеорологічного радіусу виявлення хмар і опадів

ВИМОГИ ДО МЕТЕОРОЛОГІЧНИХ РАДІОЛОКАТОРІВ МАЛОЇ ДАЛЬНОСТІ ВИДИМОСТІ

РЛС на основі ефекту Допплера

Принцип дії допплерівских РЛС заснований на використанні ефекту Допплера-Білопільського, що полягає в тому, що при відносному переміщенні джерела коливань або об'єкта, що відображає ці коливання, змінюється частота прийнятих коливань в залежності від швидкості і напряму цього переміщення. Структурна схема РЛС з когерентним безперервним (немодульованим) випромінюванням, призначена для вимірювання радіальної швидкості мети (але не знака швидкості) показано на рисунку 4.

Рисунок 4 – Структурна схема допплерівської РЛС

Додаток А6 – Структурна схема допплерівської РЛС

Когерентного-імпульсні радіолокаційні станції

Структурна схема когерентного-імпульсні РЛС показана на рисунку 5. РЛС даного типу мають серйозний недолік, якщо при використанні когерентно-імпульсних РЛС допплерівска частота $F_D = k/F_п$ кратна частоті повторення імпульсів станції, рухома ціль сприймається як нерухома. Наявність «сліпих» швидкостей є істотним недоліком імпульсних когерентних РЛС. Одним із шляхів боротьби з ним є зміна періоду проходження імпульсів РЛС.

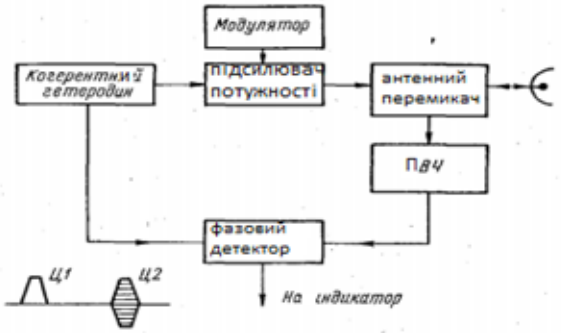


Рисунок 5 – Структурна схема когерентно – імпульсної РЛС

Порівняльна оцінка допплерівської та когеретно-імпульсної РЛС показує , що при побудові метеорадіолокатора малої дальності доцільно в якості основи выбрати РЛС когернтно-імпульсного типу, тому, що в цьому випадку простіше визначити одночасно дальність до метеоцілей та швидкість їх переміщень.

Додаток А7 – Когерентно – імпульсні радіолокаційні станції

РОЗРОБКА СХЕМИ ЗАДАВАЛЬНОГО ГЕНЕРАТОРА

Генератори – це зручні у користуванні прилади, які являються провідниками електричного струму за умов від'єднання від електромережі та запобігають зупинці перманентної дії або порушенню промислових операцій. Основною вимогою до генератора, що задає є забезпечення максимальної стабільності робочої частоти. Ця вимога має різну силу в залежності від назначення станції, робочого діапазона і рівнів розвитку техніки, особливо ця вимога важлива для задавального генератора когерентно-імпульної РЛС.

Для того щоб отримати максимальну стабільність частоти, намагаються ізолювати генератори від всіх зовнішніх впливів, живити їх від особливого стабілізованого джерела, не виробляти в них модуляції або телеграфної маніпуляції, в мінімальній степені зв'язувати з подальшими каскадами і вибирати робочий режим з мінімальними температурними перепадами. Остання обставина зумовлює необхідність отримання в заданому генераторі вельми обмеженою потужності, зазвичай не перевищує кількох ват і використання термостатів.

Додаток А8 – Розробка схеми задавального генератора

Можливі схеми реалізації задавальних генераторів

Транзисторні автоколивальні генератори (ТАГ) працюють за загальними принципами, але ці схеми ТАГ мають дві специфічні особливості.

Зсув на базу транзистора зазвичай буває комбінованим. Воно здійснюється за допомогою дільника напруги колекторного живлення (фіксоване зміщення) і за рахунок постійної складової струму бази або емітера (автоматичне зміщення). Необхідність в комбінованому зміщенні вітікає з особливостей транзисторів, які бувають відімкнуті при прямій і замкнені при зворотній напрузі на емітерному переході. Типова схема транзисторного автогенератора представлена на рисунку 6.

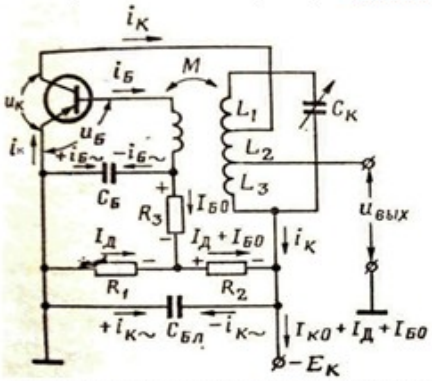


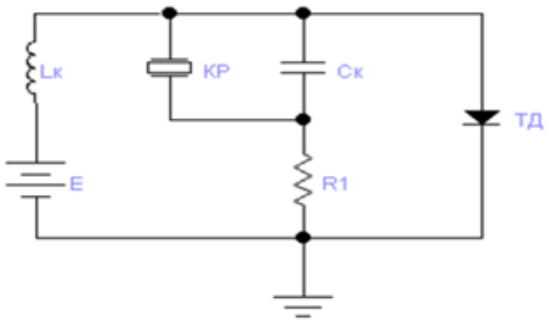
Рисунок 6 - Типова схема транзисторного автогенератора

Додаток А9 – Можливі схеми реалізації задавальних генераторів

Аналіз схем кварцевих генераторів на тунельних діодах

Кварцовий генератор - генератор змінної напруги, стабілізувальним елементом частоти якого є кварцовий резонатор чи п'єзоелемент, принципіальна схема якого показана на рис.7. Дана схема відзначається високою температурною і тривалою стабільністю, низьким рівнем фазових шумів.

В даній схемі кварцовий резонатор підключений безпосередньо до ємності контуру. Тому мінімальним значенням ємності контуру може служити його статична ємність, що забезпечує можливість порушення кварцового резонатора на більш високих частотах в порівнянні з іншими схемами.



Додаток А10 – Схема кварцового генератора на тунельному діоді

Алгоритм розрахунку областей збудження

Для розрахунку умов збудження коливань в автогенераторі була написана математична програмна модель автогенератора з п'єзоелектричним резонатором в ємнісний гілки коливального контуру в середовищі математичного моделювання Mathcad. В додатку наведена програма, що дозволяє отримати умови збудження автогенератора, зокрема баланс фаз і амплітуд, відповідно до яких розраховуються області збудження. Варіації конкретних числових значень параметрів дозволяють провести аналіз впливу різних параметрів схеми генератора на форму областей збудження, а отже, і на його режим роботи представлені в таблиці 1.

Таблиця 1 – Варіації числових значень параметрів

№№ п/п	τ_0	R_{ak}	R1	ωCk
1	0,05 0,1 0,15 0,2 0,25	50	20	0,04
2	0,15	40 50 60 70 80	20	0,04
3	0,15	50	18 19 20 21 22	0,04
4	0,15	50	20	0,025 0,03 0,04 0,05 0,055

Додаток А11 – Алгоритм розрахунку областей збудження

Результати моделювання

Результати моделювання представлені на рисунках 8 а,б,в.

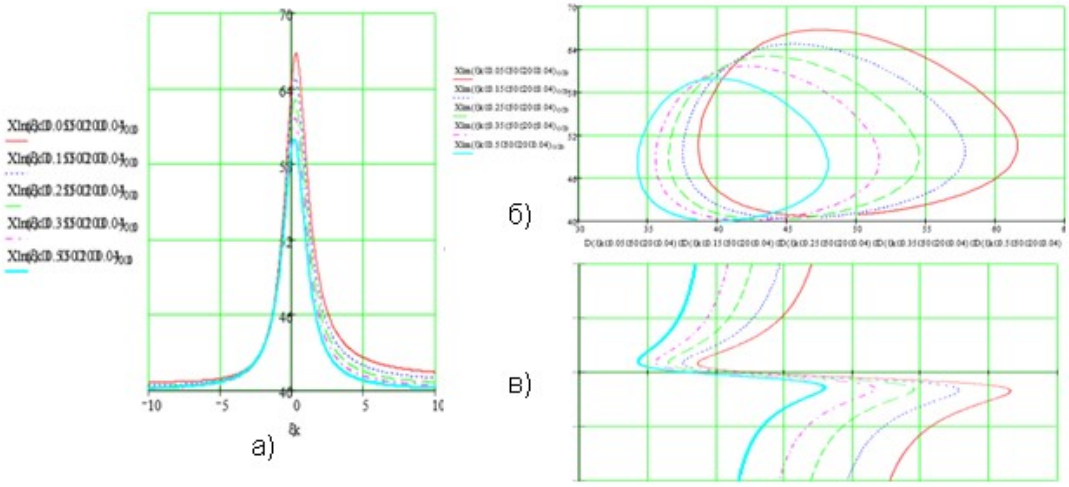


Рисунок 8 – Результати моделювання

Додаток А12 – Графіки результатів моделювання

ВИСНОВКИ

Таким чином приведений аналіз показує , що використання радіолокаційних методів дозволяє збільшити зону виявлення різноманітних метеоявищ та повисити точність визначення їх характеристик.

Найбільший ефект по критерію ціни реефективність для отримання оперативної метеорологічної інформації дають радіолокатори малої дальності з когеренто-імпульному опрацюванню сигналу. Використання таких радіолокаторів дозволяє:

-вимірювати дальність до об'єктів;

-визначати швидкісні характеристики метеооб'єктів;

-економити кошти на отримання радіолокаційної інформації;

-не порушувати екологічну обстановку.

Використання ефекту Допплера для визначення швидкісних характеристик метеоцілей вимагають забеспечення високої стабільності несучої частоти радіолокатора . Ця вимога приводить до необхідності використання високостабільних по частоті задавальних генераторів. На даний час найбільш перспективним являється побудова задаючих генераторів з тунельним діодом в якості активного елементу и термостатированого кварцового резонатору.

Додаток А13 - Висновки