

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ОДЕСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ЕКОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет Магістерської та
аспірантської підготовки
Кафедра Автоматизованих систем
моніторингу навколишнього
середовища

МАГІСТЕРСЬКА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на тему: Розробка когерентного гетеродина доплерівської метеорологічної
радіолокаційної станції

Виконав студент 2 курсу групи МАГ-61
спеціальності 103 Науки про Землю
Жигалов Вячеслав Валерійович

Керівник к.т.н. доц.
Вельміскін Дмитро Іванович

Консультант

Рецензент к. геог. н.
Лужбін Анатолій Михайлович

АНОТАЦІЯ

Представлена робота Жигалова Вячеслава Валерійовича на тему «Розробка когерентного гетеродина доплерівської метеорологічної радіолокаційної станції»

Мета магістерської роботи – дослідження роботи доплерівської метеорологічної радіолокаційної станції, її видів, режимів роботи, а також робота метеорологічної станції у купі з когерентним гетеродином.

Для досягнення зазначеної мети необхідно вирішення наступних завдань:

- сучасні методи виявлення явищ радіолокаторами;
- принцип дії когерентного гетеродина;
- будова метеорологічної станції;
- критерії та їх вибір;
- визначення фазового складу метеоутворень;
- задаючий та кварцовий генератори;
- радіолокаційний метод спостережень;
- ефективна площа розсіювання об'єктів;
- розрахунок параметрів генераторів;
- розгляд роботи діода Ганна.

У магістерській роботі були розглядані та описані сучасні методи прогнозу метеорологічних явищ за допомогою доплерівського радіолокатора.

Магістерська робота містить: 70 с., рис. 19, табл. 1, формул 58, використаних літературних джерел 25.

Ключові слова: гетеродин, радіолокатор, когерентний зв'язок, метеорологічна станція.

SUMMARY

The work of Zhigalov Vyacheslav Valerievich on the theme "Development of a coherent heterodyne of the Doppler meteorological radar station" is presented.

The purpose of the master's thesis is to study the work of the Doppler meteorological radar station, its types, modes of operation, as well as the work of the meteorological station in a heap with a coherent heterodyne.

To achieve this goal you need to solve the following tasks:

- modern methods of detecting phenomena by radar;
- the principle of the coherent heterodyne;
- the structure of the meteorological station;
- calculation of parameters of generators;
- criteria and their choice;
- determination of the phase composition of meteorological processes;
- Specifying and quartz generators;
- radiolocation observation method;
- effective area of dispersion of objects;
- calculation of parameters of generators;
- consideration of the work of the diode of Anna.

In the master's thesis modern methods of forecasting meteorological phenomena were considered and described with the help of Doppler radar.

Master's thesis contains: 70 p., Rice. 19, tab. 1, formulas 48, , used literary sources 25

Keywords: heterodyne, radar, coherent bond, meteorological station.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	6
1 ЕФЕКТИВНА ПЛОЩА РОЗСИЮВАННЯ ОБ'ЄКТІВ.....	7
2 РАДІОЛОКАЦІЙНА ВІДБИВАНІСТЬ.....	9
3 РІВНЯННЯ РАДІОЛОКАЦІЙНИХ АТМОСФЕРНИХ УТВОРЕНЬ.....	11
4 ОБМЕЖЕННЯ РАДІОЛОКАЦІЙНОГО МЕТОДУ СПОСТЕРЕЖЕНЬ.....	14
5 ОБГРУНТУВАННЯ МЕТЕОРОЛОГІЧНОГО РАДІУСА ВИЯВЛЕННЯ ХМАР І ОПАДІВ.....	17
6 СИСТЕМИ СЕЛЕКЦІЇ РУХОМИХ ЦІЛЕЙ.....	20
7 ПРОГНОЗ ЯВИЩ ЗА ДОПОМОГОЮ ДОППЛЕРІВСЬКОГО МЕТЕОРОЛОГІЧНОГО РАДІОЛОКАТОРА.....	25
7.1 Вихори.....	25
7.2 Блискавки.....	28
7.3 Урагани.....	31
8 ВИДИ ДОППЛЕРІВСЬКИХ МЕТЕОРОЛОГІЧНИХ РАДІОЛОКАТОРІВ.....	34
8.1 Метеорологічний поляризаційний доплерівський радіолокатор.....	34
8.2 Допплерівський метеорологічний радіолокатор Метеор-Метеокомірка	39
9 КОГЕРЕНТНИЙ ГЕТЕРОДИН.....	44
10 РОЗРОБКА ЗАДАЮЧОГО ГЕНЕРАТОРА ДЛЯ ДОППЛЕРІВСЬКОГО МЕТЕОРОЛОГІЧНОГО РАДІОЛОКАТОРА.....	46
11 РОЗРАХУНОК КВАРЦЕВОГО АВТОГЕНЕРАТОРА НА ТУНЕЛЬНОМУ ДЮДІ.....	55
12 РОЗРАХУНОК ХАРАКТЕРИСТИК ГЕНЕРАТОРІВ ГАННА.....	60
ВИСНОВКИ.....	65
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ.....	66
Додаток А. Графічна частина магістерської роботи.....	69

ВСТУП

Метеорологічні радіолокатори сьогодні є унікальним засобом метеорологічних спостережень, яке може забезпечити в режимі реального часу точну інформацію про місцезнаходження і характер переміщення зон інтенсивних опадів, гроз, граду на великих територіях. Сучасний локатор виробляє циклічні спостереження з періодичністю від 3 до 15 хвилин в цілодобовому автоматизованому режимі, надаючи дані з високим просторовим дозволом (1 км) на площі до 200 тис.км² (радіус зони радіолокаційного огляду - 250км).

Радіолокаційна інформація добре доповнює дані метеорологічних супутників, які використовують для зондування атмосфери пасивні методи (радіометри), що дають істотно іншу вихідну метеорологічну інформацію.

Радіолокатори були створені для виявлення і визначення відстані до літаків за допомогою радіохвиль[1].

Однак у міру того як вони ставали більш потужними, діаграми - вужчими, приймачі - більш чутливими, а передавачі - когерентними, радіолокатори стали успішно застосовуватися в метеорології, для дослідження поверхні Землі та інших планет сонячної системи.

Радіолокаційний промінь, проникаючи всередину грозової хмари, дозволяє, подібно рентгенографії, визначати приховану при інших спостереженнях внутрішню структуру цих об'єктів. В останні роки застосування імпульсного доплерівського радіолокатора для дослідження структури хмари дозволило досить успішно в реальному часі спостерігати зародження торнадо. Такі спостереження дозволять метеорологам-прогнозістам підвищити точність прогнозу і його завчасність, а дослідникам-зрозуміти динаміку розвитку і життя хмари.

1 ЕФЕКТИВНА ПЛОЩА РОЗСІЮВАННЯ ОБ'ЄКТІВ

Застосування радіолокації в метеорології засноване на ефекті розсіювання радіохвиль сантиметрового діапазону частинками хмари 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 падаючої хвилі поглинається частинкою і переходить в тепло. Інша частина перевипромінюється у вигляді розсіяної хвилі з різних напрямків, в тому числі і збігається з напрямком на радіолокатор. Частота коливань розсіяною електромагнітної хвилі збігається з частотою хвилі, що падає на частку. Інтенсивність випромінювання від такої частки в напрямку на радіолокатор оцінюється через ефективну площу розсіювання σ [2].

Вираз для σ спрощується при виконанні двох умов. Перше з них - радіус частинки $a \leq 0.03\lambda$ -довжина хвилі. Друга умова – радіус частинки повинен бути менше довжини хвилі всередині частинки ($a < 0.13 \cdot \frac{\lambda}{\sqrt{m^2 - 1}}$), де m -комплексний показник заломлення речовини частки в діапазоні хвиль λ .

Для таких малих частинок сферичної форми за формулою Релея:

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

Множник $\left| \frac{m^2 - 1}{m^2 + 2} \right|^2$ для води у сантиметровому діапазоні дорівнює 0.93 ± 0.0004 , а для льоду з одиничною щільністю 0.197. Звідси висновок, що ця величина для водяної частки майже в 5 разів більше крижаних часток такої ж форми і розмірів.

Зі збільшенням розмірів частинок, коли $a \geq 0.03\lambda$, величина σ спочатку швидко зростає до певної межі, що залежить від співвідношення між a і λ , а потім наближається до межі, рівного πa^2 . На вхід приймача радіолокатора надходять сигнали від сукупності частинок, укладених в імпульсному обсязі діаграми спрямованості антени радіолокатора.

Тому для характеристики ефективної поверхні сукупності використовують поняття про ефективну площу розсіювання одиниці об'єму η :

$$\eta = \sum_{z,v} \sigma_L, \quad (1.2)$$

тобто ефективна площа розсіювання одиниці об'єму V

дорівнює сумі ефективних площ розсіювання σ , окремих частинок в цьому обсязі.

2 РАДІОЛОКАЦІЙНА ВІДБИВАНІСТЬ

Для сферичних релеєвських частинок радіолокаційна відбиваність:

$$z = \sum_{\zeta v} a_{\zeta}^6 \left| \frac{m_L^2 - 1}{m_L^2 + 2} \right|^2. \quad (2.1)$$

Як випливає з виразу, радіолокаційна відбиваність Z визначається кількістю і розподілом часток за розмірами в одиничному обсязі і їх комплексним показником заломлення в діапазоні сантиметрових хвиль. Величина Z характеризує розсіювальні властивості хмар і опадів в діапазоні хвиль. Якщо в повітрі тільки вода або тільки лід, то

$$z = \left| \frac{m^2 - 1}{m^2 + 2} \right|^2 \sum_{l,v} a_l^6. \quad (2.2)$$

Вираз Z через діаметр частинок позначається Z_d та визначається як:

$$z_d = \sum_{l,v} d_l^6 \left| \frac{m_l^2 - 1}{m_l^2 + 2} \right|^2, \quad (2.3)$$

$$z_d = 64 z, \quad (2.4)$$

$$\lg z_d = \lg z + 1.8. \quad (2.5)$$

Діапазон відбиваності Z у реальних облаках дуже велик (від 10^{-5} до $10^5 \text{ м м}^6/\text{м}^3$), та для зручних записів Z використовують логарифми та децилогарифми ($\lg z$ або $\log z$).

Наприклад, $z=10^{3,5}$ записують так $Lgz=3,5$, а $Z=1\frac{MM^6}{M^3}$ записують як $LgZ=0$.

Величина z у відмінності від η не залежить від довжини хвилі λ та інших параметрів радіолокатора. Ці величини залежать від розміру частинки.

Якщо діаметр одної каплі більше діаметру іншої у 10 разів, то значення Z , η та величина відбитого від них сигналу буде відрізнятися у 10^6 разів. Звідси витікає, що радіолокатор найбільш ефективний при виявленні та визначенні розмірів хмар з більшою кількістю крупних частинок[3].

3 РІВНЯННЯ РАДІОЛОКАЦІЙНИХ АТМОСФЕРНИХ УТВОРЕНЬ

Параметри радіолокатора та радіолокаційна відбиваність зв'язані між собою рівнянням радіолокації атмосферних утворень. Рівняння отримано при наступних допущеннях:

- радіохвилі відбиваються сферичними частинками, величина про яких визначається формулою Релея;
- має місце повне заповнення відображають обсяги частинками хмар і опадів;
- не враховується ослаблення радіохвиль і вплив підстильної поверхні на діаграму спрямованості.

При цьому для метеорологічного радіолокатора середня величина сигналу на вході приймача P_{np} зв'язується з параметрами радіолокатора, видаленням r до відбиваючого обсягу і радіолокаційної відбиваності наступною залежністю:

$$P'_{np} = \frac{0.1 \pi^6 P_n A_p h K}{\lambda^4} \frac{z}{r^2}. \quad (3.1)$$

Вираз (3.1) -рівняння радіолокації атмосферних утворень. Тут P_n - імпульсна потужність передавача; A_p - апертура антени; h = ст-просторова протяжність зондуючого імпульсу, що дорівнює добутку швидкості світла c на тривалість зондуючого імпульсу τ ; λ -довжина хвиль випромінювання радіолокатора; K -коефіцієнт корисної дії антенно-хвильового тракту при прийомі (K_{np}) і передачі (K_{nep}), $K = K_{np} * K_{nep}$. Рівняння є окремим випадком більш загального рівняння:

$$P'_{np} = \frac{0.35 \pi^6 \beta P_n A_p h * \epsilon}{\lambda^4} \frac{z}{r^2} K \times K_{зАП} \times K_{осл} \times K_з, \quad (3.2)$$

$$A_p = \frac{\pi D^2}{4}. \quad (3.3)$$

Тут $K_{зан}$ -коефіцієнт заповнення відображає об'єм діаграми направленості антени розсіюючими частинками; $K_{осл}$ -узагальнений коефіцієнт ослаблення електромагнітної енергії в тропосфері; β -коефіцієнт зв'язку між посиленням і шириною діаграми направленості антени; K_3 - коефіцієнт, що враховує вплив земної поверхні на поширення радіохвиль; α -коефіцієнт використання апертури антени; $K_{разл}$ - коефіцієнт розрізнення корисного сигналу в шумах [4].

Ряд коефіцієнтів, наведених вище, виходять тільки експериментально. Для апаратури метеорологічного радіолокатора їх середні значення наступні:

$$\lambda = 0,46; \quad \beta = 0,65; \quad K_{разл} = 1; \quad K = 0,16; \quad K_3 = 1.$$

Величини $K_{зан}$, $K_{осл}$ і K можна отримати тільки досвідченим шляхом. В процесі отримання штормових даних їх досить точно визначити неможливо; їх вважають рівними одиниці, K_3 дорівнює одиниці тільки за умови, коли кут місця антени ϵ дорівнює або більше половини ширини її діаграми спрямованості (при $\epsilon = 0, K_3 = 1$). Тому при всіх інших рівних умовах вимір Z буде тим точніше, чим більше кут місця ϵ .

При вимірах P_{np} в якості початкового рівня вибирають будь-яке значення P_0 (Вт, мВт) або рівень власних шумів радіолокатора P_w (Вт, мВт). Розділивши обидві частини рівняння (3.1) на P_0 і P_w , отримавши рівняння радіолокації атмосферних утворень з урахуванням способу вимірювань відбитих сигналів:

$$\frac{P'_{np}}{P_0} = \frac{0.1 \pi^6 P_4 A_p h K}{P_0 \lambda^4} \frac{z}{r^2}. \quad (3.4)$$

$$\frac{P'_{np}}{P_u} = \frac{0.1 \pi^6 P_4 A_p h K}{P_u \lambda^4} \frac{z}{r^2}. \quad (3.5)$$

При $P_o = P_u$ рівняння (3.4) та (3.5) збігаються.

Величина

$$\Pi_m = \frac{0.1 \pi^6 P_4 A_p h K}{P_u \lambda^4} \frac{z}{r^2}. \quad (3.6)$$

Зветься метеорологічним потенціалом радіолокатора. За допомогою метеорологічного потенціалу можливо порівнювати різні радіолокатори з точки зору їх ефективності для метеорологічних спостережень. Чим більше потенціал, тим кращий даний радіолокатор пристосований для метеоспостережень.

З урахуванням Π_m рівняння (3.6) спрощується:

$$\frac{P'_{np}}{P_u} = \Pi_m \frac{z}{r^2}. \quad (3.7)$$

Величина $\frac{P_{np}}{P_u}$ вимірюється в децибелах; величина Π_m також вимірюється в децибелах:

$$10 \lg \Pi_m = 10 \lg A_p + 10 \lg P_u + 10 \lg h + 10 \lg K - 10 \lg P_u - 40 \lg \lambda, \quad (3.8)$$

де P_u - у кілометрах;

λ - в сантиметрах та h в метрах.

Рівняння (3.8) для LgZ :

$$\lg z = 0.1 (10 \lg \frac{P'_{np}}{P_u} + 20 \lg r - 10 \lg \Pi_m). \quad (3.9)$$

4 ОБМЕЖЕННЯ РАДІОЛОКАЦІЙНОГО МЕТОДУ СПОСТЕРЕЖЕНЬ

1. Гранична дальність виявлення $r_{пред}$ метеоутворень радіолокатором обмежується тільки дальністю прямої видимості. Радіолокатор може приймати відбитий сигнал від всіх хмар, вершини яких лежать вище лінії радіо горизонту. Однак, як випливає з рівнянь радіолокації реальна максимальна дальність виявлення $r_{мак}$ визначається при значенні відносини

$\frac{P_{пр}}{P_{ш}} = 1$. Відповідно $r_{пред}$ завжди більше $r_{мак}$.

Рівняння дальності прямої видимості:

$$r_{пр.видим,км} = 4.12(\sqrt{h_a, м} + \sqrt{h_{обл, м}}), \quad (4.1)$$

де h_a - висота антени радіолокатора;

$h_{обл}$ - висота хмари.

Починаючи з відстані 100км від радіолокатора, частина хмара не буде їм виявлятися через те, що їх вершини будуть лежати нижче лінії радіогоризонту (прямої видимості).

За цієї ж причини за допомогою радіолокатора на відстанях понад 100-200 км не можна виміряти інтенсивність опадів (рис. 4.1).

Наявність високих місцевих предметів навколо радіолокатора створює кути закриття, часто набагато перевищують нульові. Через це збільшується мінімальна висота виявлення хмарності, розташованої в азимуті високих місцевих предметів[5].

2. З відстанню зростає мінімальне значення відбиваності $Z_{мін}$, яке при заданому потенціалі Π_m може дати радіоехо на екранах радіолокатора (рис. 4.2). Хмари, відбиваність яких менше $Z_{мін}$ на деякій відстані, визначаєма

потенціалом, не будуть виявлятися радіолокатором. Найвність залежності LgZ_{\min} від відстані r дозволяє проводити калібрування системи вимірювання інтенсивності радіоеха.

3. Радіолокатор не може виявити хмари, відбиваність яких сильно ослаблена через поглинання радіохвиль в хмарах і опадах; виявлення можливо, якщо не буде ослаблення радіохвиль, яке залежить і від діапазону хвиль радіолокатора.

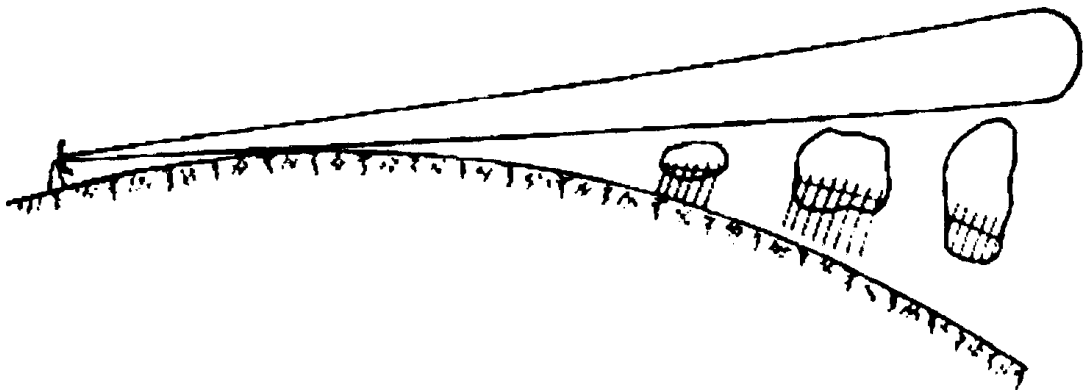


Рисунок 4.1 – Обмеження лінією радіогоризнту

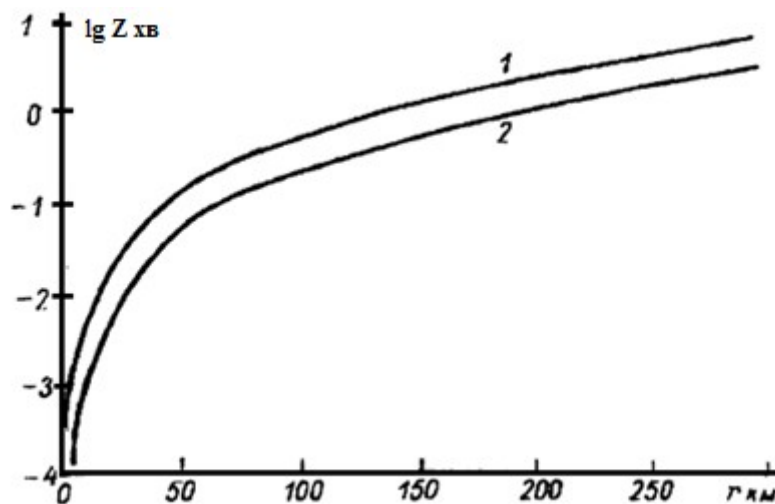


Рисунок 4.2 – Обмеження за рахунок $r_{км}$, збільшення відбиваності lgz_{\min}

1-при $P_m=48\text{дБ}$; 2 – при $P_m=52\text{дБ}$

4. Зі збільшенням відстані від радіолокатора різко падає його роздільна здатність по кутових координатах. Лінійні розміри перетину діаграми спрямованості на дальність $r=300$ км при ширині $Q=1^\circ$, становитимуть приблизно 5км, а на відстані 30 км дорівнює 0,5км. Звідси випливає, що інформація радіолокатора про висоти і площі хмарності будуть нерівноцінною, в залежності від відстані [6].

5 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, граді і сильних злив дощам 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 нуля (системи);
- визначення еволюції радіоехо купчасто-дощових хмар;
- визначення висот кучевої 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[7].

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

Радіус може бути збільшений за рахунок збільшення висоти антени h_a . При цьому також забезпечується радіус зони, безпечної від

електромагнітного випромінювання навколо радіолокатора. Таким чином, формується ближня зона метеорологічного радіусу виявляється хмар і опадів - до 100 км від точки стояння радіолокатора.

Максимальний метеорологічний радіус визначається метеорологічним потенціалом P_m , висотою і радіолокаційною відбиваністю метеоутворень [8].

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 кількості характеристик (висотах, відбиваності), одержуваних за спеціальною методикою.

На відстанях до 30-40 км від метеорологічного радіолокатора ("близька" 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 30X30 км, їх розподіл і вид картин радіоехо.

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 хмари і пов'язаних з ним явища з наземною 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 вертикальний розподіл основних видів хмарності в радіусі 40 км, одержувані незалежно від наявності суцільної хмарності нижнього ярусу і часу суток;

- про місце розташування та числа гроzoneбезпечних злив.

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

Принципово новою є інформація:

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

Таким чином, метеорологічний радіус виявлення хмар і опадів визначається:

- метеорологічним потенціалом Пм;
- висотою хмар Н, величина яких більше $Z_{min}(r)$;
- 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 [9].

$$r_{пр. вид. км} = 4,12 (\sqrt{h_{г.м}} + \sqrt{h_{обл.м}}). \quad (5.1)$$

6 СИСТЕМИ СЕЛЕКЦІЇ РУХОМИХ ЦІЛЕЙ

При виявленні цілей і вимірі їх координат і параметрів руху на тлі місцевих предметів, гідрометеорів, підстильної поверхні і навмисних пасивних перешкод виникає необхідність режекції (фільтрування) заважаючих віддзеркалень від сигналів рухомих цілей. Селекція рухомих цілей і вимір радіальної швидкості руху цілі засновані на використанні ефекту Доплера, що полягає в тому, що частоти випромінюваних і прийнятих коливань різні [10].

Якщо приймач переміщується щодо джерела випромінювання, то частоти випромінюваних f_0 і прийнятих f_{np} коливань за умови $u \ll c$ пов'язані співвідношенням:

$$f_{np} = f_0(1 - v_p/c), \quad (6.1)$$

де u - модуль швидкості руху цілі;

c - швидкість світла.

Величина:

$$f_0 v_p / c = v_p / \lambda = F_{\partial}, \quad (6.2)$$

є доплерівське зміщення частоти сигналу, а радіальна складова швидкості цілі виражається рівністю:

$$v_p = \lambda F_{\partial}. \quad (6.3)$$

У радіолокації, де найчастіше використовуються відбиті від цілі сигнали, значення доплерівського зсуву наближено подвоюється.

Припустивши, що передавач і приймач розташовані в одній точці, а вона рухається зі швидкістю U , отримаємо, що частота сигналів при $v_p \ll c$ дорівнює:

$$f_{np} = f_0 \left(1 + \frac{v_p}{c} \right), \quad (6.4)$$

звідки доплерівське зміщення частоти дорівнює:

$$F_\partial = \frac{2f_0 v_p}{c} = 2v_p / \lambda, \quad (6.5)$$

а радіальна швидкість:

$$v_p = 0,5 F_\partial \lambda. \quad (6.6)$$

На практиці порівняння частоти прийнятих коливань з частотою опорного генератора здійснюється за допомогою фазового детектора, на один вхід якого надходить відбитий сигнал з приймача, а на інший вхід - опорна напруга.

На виході фазового детектора формуються відеоімпульси, амплітуда яких залежить від різниці фаз $\Delta\psi$ між напругою сигналу і опорною напругою. Якщо ціль нерухома, то цей фазовий зсув постійний і постійна амплітуда U імпульсів напруги на виході фазового детектора. При русі цілі щодо РЛС огинаюча відеоімпульсів на виході фазового детектора виявляється промодульованою певною частотою F_M .

Для вимірювання доплерівських частот відбитих сигналів використовуються когерентні радіолокаційні станції, які характеризуються когерентністю випромінюваних коливань. Коливання називають когерентним, якщо їх початкова фаза або постійна, або змінюється детерміновано [11].

Когерентні РЛС підрозділяються на РЛС з зовнішньою і внутрішньою когерентністю в залежності від розташування джерела опорного сигналу.

У РЛС з зовнішньою когерентністю якості опорних застосовуються сигнали, відбиті від пасивної перешкоди. Опорний сигнал формується за допомогою гетеродина, фазуючого перешкодою, випереджаючої корисний сигнал. У РЛС з внутрішньої когерентністю джерелом опорного сигналу служить когерентний гетеродин, який може фазуватися сигналом генератора СВЧ або служити генератором, що задає сигнали [12].

Якщо передавач РЛС формує коливання:

$$u_{\text{пер}}(t) = U_0 \cos(\omega_0 t + \psi_0), \quad (6.7)$$

тоді відбитий сигнал на вході приймача:

$$u_{\text{пр}}(t) = U_0 \cos[\omega_0(t - t_D) + \psi_0 + \psi_{\text{опр}}], \quad (6.8)$$

$t_{\text{дет}D} = 2D/c = 2(D_0 - v_p t)/c$ - час запізнювання відбитої хвилі;

D - поточна дальність до цілі;

D_0 - дальність до цілі в момент початку відліку при $t = 0$;

$\psi_{\text{опр}}$ - зміна фази хвилі при відбитті від цілі.

Якщо фазу $\psi_{\text{опр}}$ вважати постійною, що справедливо при повільних флуктуаціях цілі, то різниця фаз $\Delta\psi$ виявиться детермінованою функцією часу:

$$\Delta\psi = 2v_p \omega_0 t / c + \text{const}. \quad (6.9)$$

Зіставлення двох зазначених коливань дозволить виділити доплерівську частоту $\Omega_D = 2v_p \omega_0 / c$ сигналу і визначити радіальну складову швидкості цілі (рис. 6.1).

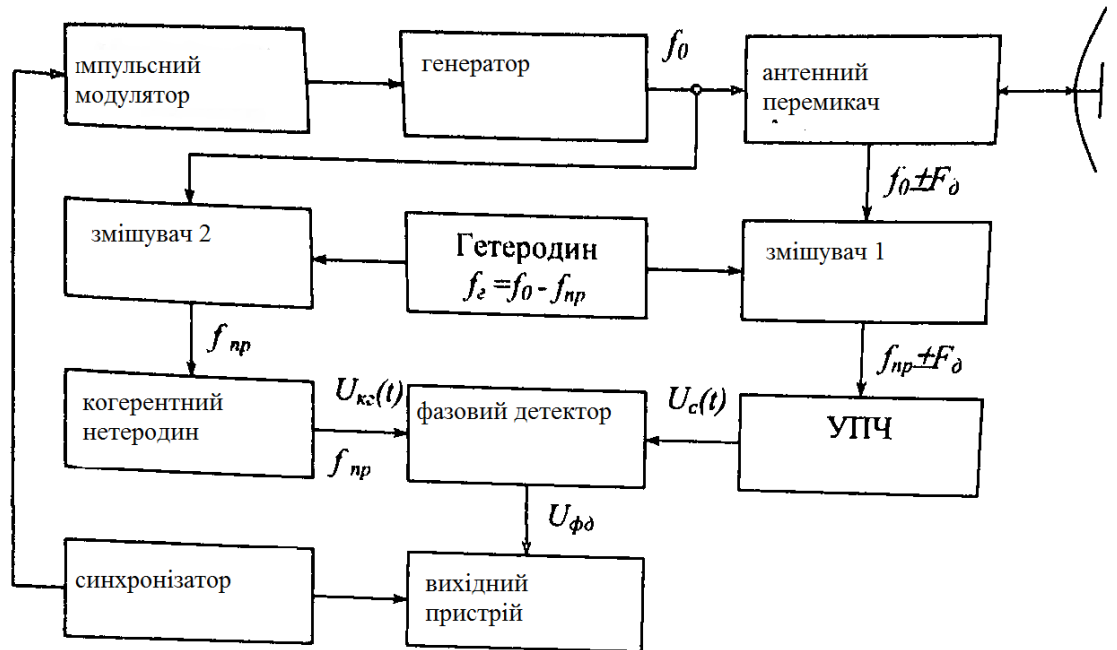


Рисунок 6.1 – Функціональна схема псевдокогерентної імпульсної РЛС

На рис. 6.1 зображена схема псевдокогерентної імпульсної РЛС з фазуючим когерентним гетеродином. Особливість станцій такого типу полягає в тому, що імпульси високочастотного генератора некогерентні, т. к. передавач РЛС формує зондуєчий сигнал, який має випадкову початкову фазу:

$$u_z(t) = U_z \cos(\omega_0 t - \psi_{zn}), \quad (6.10)$$

де $t_n - i$ час, від початку n -го періоду повторення;

$\psi_{zn} - i$ фаза n -го імпульсу, яка є випадковою величиною;

$\tau_u - i$ тривалість імпульсу.

Ці імпульси фазують коливання когерентного гетеродина:

$$u_{кз}(t) = U_{кз} \cos(\omega_{кз} t_n - \psi_{кzn}). \quad (6.11)$$

Когерентний гетеродин виробляє високостабільні коливання на проміжній частоті, що використовуються в якості опорних для фазового детектора. Тривалість існування цих коливань повинна дорівнювати часу затримки сигналів, відбитих від цілі, що знаходиться на максимальній дальності дії РЛС. Тому період повторення зондувальних імпульсів в псевдокогерентних РЛС вибирається виходячи з умови однозначного виміру дальності:

$$T_n \geq t_{\text{зад.мах}} = 2D_{\text{мах}}/c, \quad (6.12)$$

де $t_{\text{зад.мах}}$ – і максимальний час затримки відбитого сигналу;

$D_{\text{мах}}$ – і максимальна дальність дії РЛС;

c – швидкість світла.

7 ПРОГНОЗ ЯВИЩ ЗА ДОПОМОГОЮ ДОППЛЕРІВСЬКОГО МЕТЕОРОЛОГІЧНОГО РАДІОЛОКАТОРА

Незважаючи на те що доплерівський радіолокатор вимірює тільки радіальну компоненту швидкості вітру, для вивчення таких явищ, як мезоциклон, важливе значення може мати її просторовий розподіл. Більш того, за допомогою доплерівського радіолокатора часто можна вимірювати швидкість як в інтенсивних повітряних потоках, що поширюються в одному напрямку, так і в турбулентних зонах. Таким чином, одиночний доплерівський радіолокатор відкриває нові перспективи в прогнозі небезпечних явищ погоди та, по всій видимості, стане корисним оперативним засобом для національної метеорологічної служби[13].

7.1 Вихори

Отримуваний за допомогою радіолокатора розподіл доплерівської швидкості всередині хмари дозволяє виділити характерні ознаки таких важливих метеорологічних явищ, як циклон з торнадо. Дональдсон сформулював критерій, за допомогою якого за даними одного доплерівського радіолокатора можна ідентифікувати вихор. Якщо коротко, критерій полягає в тому, що для наявності вихору повинна існувати локалізована зона, вертикальний розмір якої більше або дорівнює її діаметру, з стійким, високим, $5 \times 10^{-3} \text{ c}^{-1}$ азимутним зрушенням (градієнтом доплерівської швидкості уздовж дуги постійного радіуса). Можна показати, що в малорухомих циклонах лінії рівних відносних швидкостей (ізотопи) оточують позитивні і негативні екстремуми швидкості. Якщо внутрішня частина вихору вдає із себе суцільне обертаюче ядро, його тангенціальна швидкість зростає лінійно з радіусом до максимального значення (рис. 7.1).

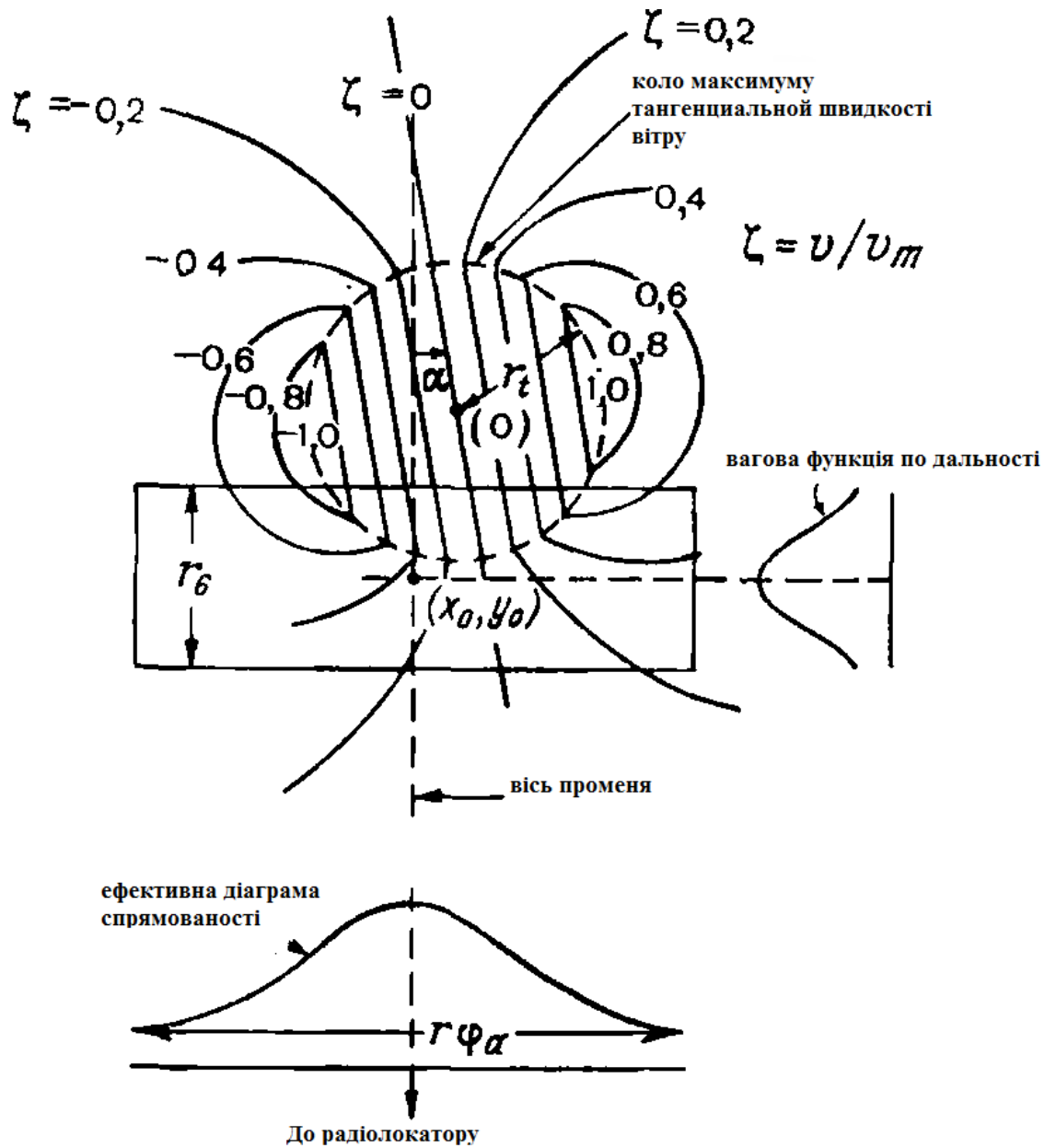


Рисунок 7.1 -Схема ідеалізованої картини ізотоп для стаціонарного модифікованого вихору , розташованого на відстані, багато більшому діаметру вихору

За максимумом швидкість зменшується (грубо) обернено пропорційно радіусу. Контури ізотоп таких комбінованих вихорів вдають із себе кругові дуги, що переходять в прямі лінії. Якщо спостерігається протікання повітря в циклон, а функціональна залежність швидкості повітря від відстані до

центру вихору така ж, як і для тангенціальної компоненти швидкості, картина розподілу ізотоп не змінюватиметься (рис. 7.2),

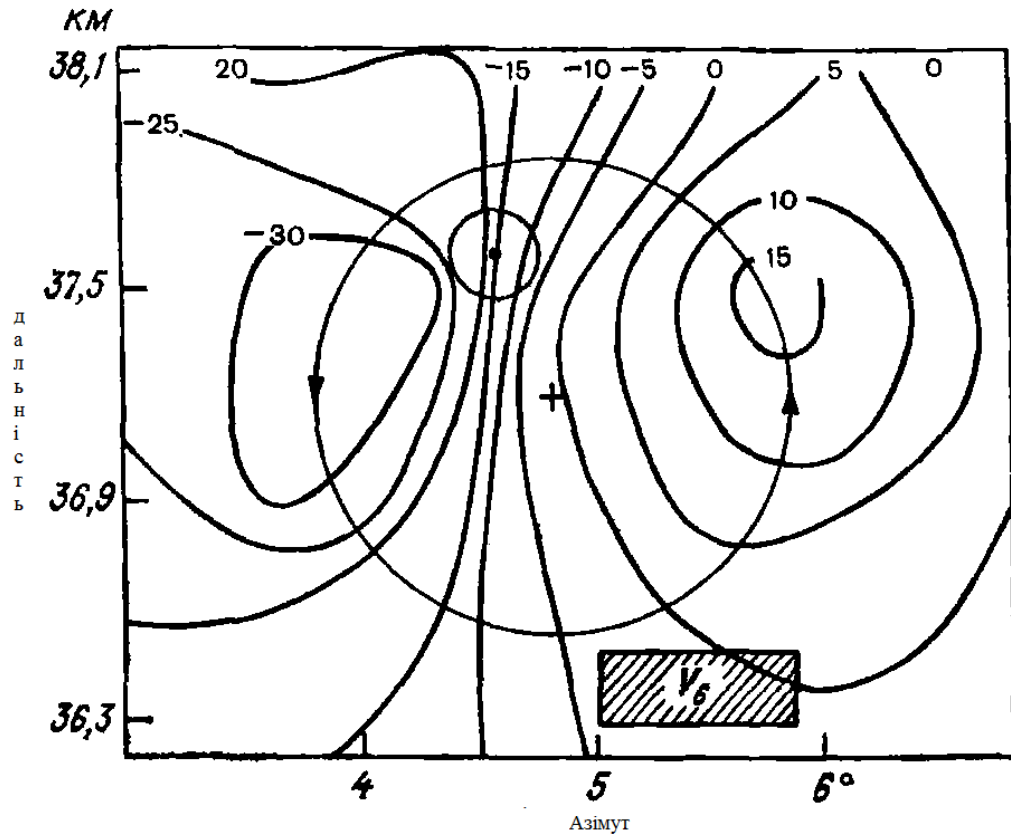


Рисунок 7.2 - Положення торнадо Дель-Сіті щодо структури радіальних швидкостей в мезоциклі

за винятком кутового розподілу для кута, рівного α_i буде залежати від інтенсивності конвергенції. Якщо ж немає обертання, але дивергенція аксіально симетрична, то $\alpha = -i90^\circ$. Така картина спостерігалася неодноразово. На рис. 7.2 показано розподіл радіальних швидкостей в реальному мезоциклоні. Розподіл швидкості всередині торнадо, що спостерігався в цьому циклоні, не показано, так як розміри торнадо малі в порівнянні з розмірами дозволяючого радіолокаційного обсягу. Однак деякі дані про розподіл швидкостей в торнадо були отримані. Контури радіальної швидкості, що спостерігалися в великому мезоциклоні (його також можна назвати циклоном з торнадо, так як в ньому утворився торнадо), мали сильну

схожість з ідеалізованою картиною ізотоп, показаної на рис. 7.1. Однак в розподілі швидкості спостерігалася велика асиметрія навіть після вирахування швидкості переміщення циклону. Ця асиметрія, мабуть, викликана ад'єктивним ефектом циклонічного зсуву, обумовленим розташованим на захід від циклону торнадо і який переміщається на південь низхідним потоком на передньому краю хмари.

7.2 Блискавки

Розряди блискавок спостерігаються як між хмарою і Землею (03), так і між хмарами (00), розряди типу 03 складаються з одного або декількох зворотніх ударів, що переносять по каналу між хмарою і Землею великий електричний заряд. Розряди які не досягли поверхні Землі, називаються розрядами типу 00 . Як 00, так і 03 розряди створюють іонізовані канали, які проводять електричний струм. Зворотне розсіювання від цих каналів цілком достатньо для отримання радіолокаційного сигналу відлуння[14].

Радіолокаційне виявлення блискавок відомо вже багато років. У деяких ранніх роботах були зроблені спроби оцінити такий важливий параметр блискавичного розряду, як щільність електронів, однак по-справжньому це було зроблено тільки в 1972 р, коли була запропонована теорія відображення сигналу відлуння від каналів зворотнього удару. З цього часу почали створюватися нові вимірювальні прилади і розроблятися теорії, що дозволили пояснити складну структуру сигналів відлуння від блискавок.

Спочатку при дослідженні сигналів відлуння від блискавок намагалися зв'язати сигнали з процесами, що відбуваються в блискавці, шляхом порівняння випромінювання від блискавки (поширення електромагнітного поля, випромінюваного розрядом) з радіолокаційними характеристиками сигналу від цього розряду . Проведені одночасні вимірювання сигналів відлуння від блискавок і змін електростатичного поля, що дозволяли досить

точно ідентифікувати тип розряду, а також його відсутність, показали, що для розрядів типу 03 часто спостерігається пов'язане зі зворотнім ударом різке збільшення амплітуди сигналу від блискавки, за яким спадання до передразрядного рівня. Ця особливість відзначалася іноді і між розрядами (рис. 7.3).

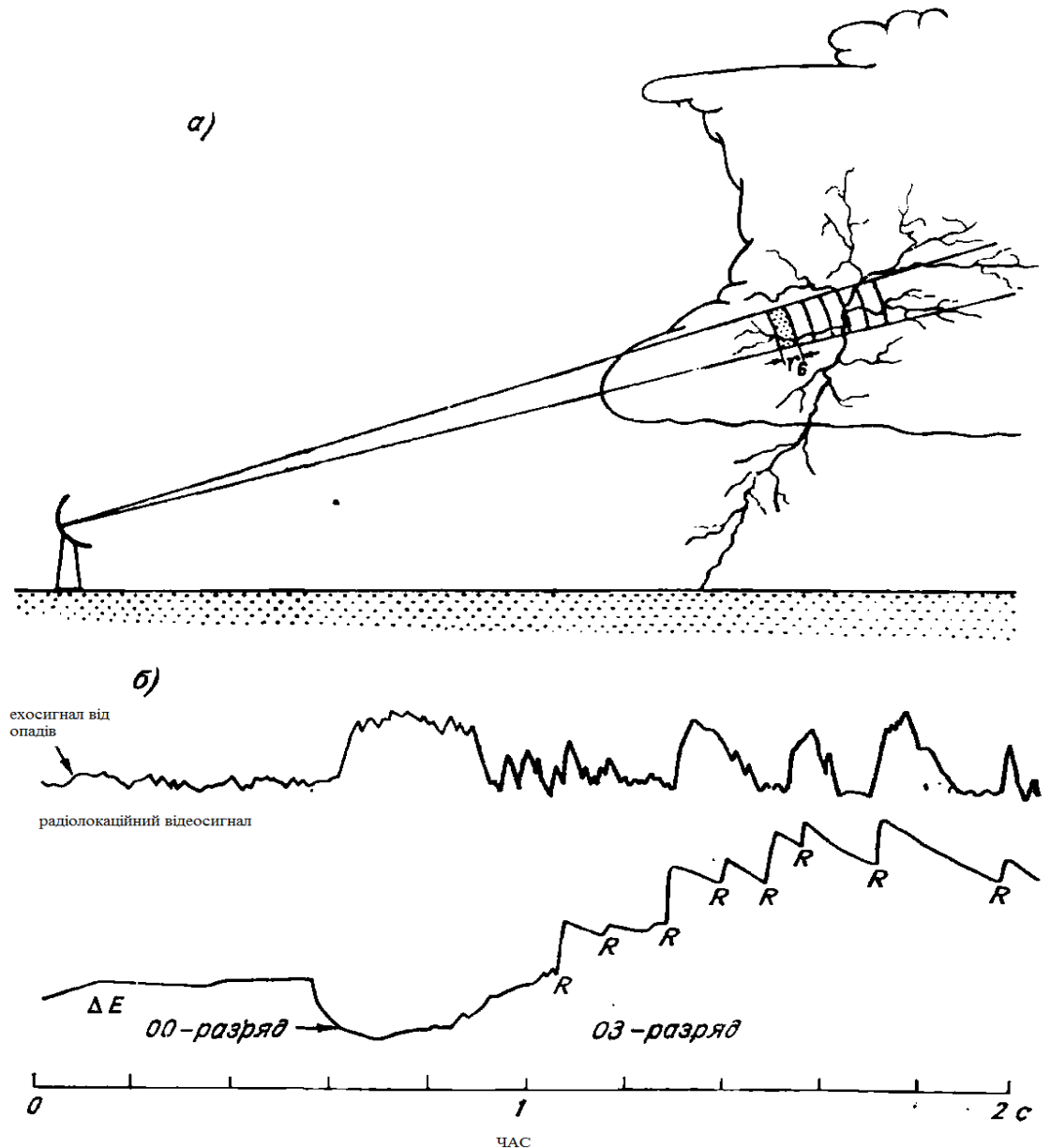


Рисунок 7.3 - Схема проведення спостережень за блискавкою (а) і приклад сигналу відлуння від блискавки з довгим розрядом, який починався як розряд типу 00, а потім перетворився в 03 (б)

Радіолокаційний сигнал від розрядів типу 00 зазвичай має відносно широкий пік, на який в першій частині розряду (0,6-1,5 с) накладаються варіації, добре видні на рисунку 7.3(б). Різка зміна електричного поля (символ R на рис. 7.3(б)) типова для зворотніх ударів. За допомогою системи пеленгації блискавок незалежно від інших вимірів був визначений тип цих розрядів як 03, щонайменше, з вісьмома зворотніми ударами[15].

Порівняння сигналу відлуння від блискавок зі змінами електричного поля дозволяє припустити, що часто іонізацію каналу підтримує безперервний процес електричного розряду. Тривалістю сигналу відлуння від блискавки ми будемо вважати час, що вимірюється з моменту первинного виявлення сигналу до моменту повернення його амплітуди до рівня, який спостерігався до початку розряду. Цей інтервал і буде характеризувати окремий сигнал відлуння від блискавки. Типова тривалість сигналу відлуння від блискавки становить приблизно 200-300 мс, але спостерігалися і екстремальні значення - від 10 мс до 3 с.

Час зростання сигналу відлуння від блискавки (час, за який приймається радіолокатором сигнал досягає максимуму) звичайно дорівнює кільком десяткам мілісекунд. Спочатку припускали, що час зростання пов'язаний зі збільшенням електричного струму в каналі, однак проведений пізніше аналіз показав, що при моделюванні блискавки у вигляді іонізованого каналу або стримера, що поширюється поперек променя антени зі швидкістю близько 100 км/с, що спостерігається час зростання добре збігається з часом перетину променя. Для стримерів всередині хмар багатьма дослідниками, які використовували різні прилади, були отримані швидкості поширення того ж порядку величини. Коли стример поширюється уздовж променя, розвиток сигналу відлуння можна побачити в послідовних дозволених обсягах. Як показали радіолокаційні спостереження за декількома тисячами розрядів блискавок в Оклахомі, максимальна швидкість поширення становить приблизно 250 км/с, а всередині невеликої хмари спостерігалася швидкість поширення стримера понад 100 км/с.

Радіолокаційний перетин розсіювання блискавки (РСР) було оцінено як теоретично, так і експериментально. РСР блискавки залежить від двох чинників: 1) від розміру і числа елементів які відбивають канали блискавки, що потрапляють в радіолокаційний обсяг, і їх орієнтації щодо падаючої хвилі; 2) від характеристик каналу плазми. Одними з перших теоретичних робіт по розрахунку РСР були роботи Доусона (1972), який вважав, що внесок в сигнал відлуння від блискавки вносять тільки іонізовані канали, розташовані перпендикулярно осі променя, і Дівінського (1981), який розглянув довільну орієнтацію каналу. Обидва автори аналізували випадки, коли плазма мала низьку і надвисоку щільність (щільність плазми вважається надвисокою, якщо радіолокаційний сигнал відбивається від неї, як від металевого провідника). Пізніше Мазур (1981), описуючи блискавку у вигляді діелектричних циліндрів нескінченної довжини, отримав залежність РСР блискавки від орієнтації каналу щодо падаючої хвилі, температури і рівня щільності електронів. Експериментальна перевірка, проведена в роботах Мацура (1981), Холмса і (1980) показала гарний збіг з теоретичними розрахунками РСР.

У роботі Холмса і ін. (1980) показано, що в хмарній частині спостережуваних на висоті 6 км розрядів діаметр каналів був менше 2 см, а щільність електронів становила приблизно 10^6 м^{-3} .

7.3 Урагани

Урагани - це величезні атмосферні вихори (діаметром 100 - 300 км), що формуються над теплими ділянками тропічних океанів (Грей, 1978). Внаслідок, обертання в урагані утворюється тепле ядро низького тиску. У зрілої стадії розвитку урагану повітря нижнього рівня під дією сил тертя відхиляється до його центру.

При стрімкому русі цього повітря до центру низького тиску разом з ним з поверхні океану переноситься величезна енергія теплоти фазових переходів. Цієї енергії достатньо для підтримки стану, близького до ізотермічного, незважаючи на адіабатичне охолодження (3-5 ° C), пов'язане зі зниженням тиску при наближенні до центру (Байєрс, 1944). Повітря нижнього рівня не проникає в центр зрілого урагану, а підходить тільки до краю урагану. Конвергенція повітря нижнього рівня викликає уповільнення впадаючого повітря і підтримує сильну конвекцію в смузі, що оточує око урагану, формуючи «стіну» хмар. Максимум швидкості вітру спостерігається усередині цієї смуги.

Око урагану - це область низької швидкості вітру, в основному вільна від хмар і опадів. Ця область зберігається завдяки опусканню повітря верхньої тропосфери при вертикальних рухах (конвективне нагрівання) в «стіні» хмар (Шапіро і Віллоубі, 1982). Ширина ока може коливатися від 5 до 50 км, а швидкість переміщення зазвичай невелика, 5-10 м/с. Велика частина енергії, що надходить з поверхні океану, реалізується через приховану теплоту в висхідні потоки «стіни» хмар. Після підйому у внутрішній частині урагану поблизу тропопаузи повітря розтікається в сторони від центру.

При виході на сушу ураган слабшає, що пов'язано зі зменшенням надходження водяної пари і збільшенням поверхневого трепня. Такі грізні явища погоди, як торнадо, лінії шквалів чи град, часто є наслідком проходження ураганів (Новлан і Грей, 1974). Найбільш схильні до дії ураганів прибережні райони через сильні вітри (50 - 70 м/с і більше). Так як урагани рухаються порівняно повільно, то зазвичай є достатньо часу для видачі попередження, але невелика швидкість переміщення призводить до накопичення опадів і повеней. Інтенсивність опадів, що спостерігається усередині найбільш потужних конвективних осередків, становить приблизно 75 мм/год (50 дБЗ, Йоргенсен і Вілліс, 1982)[16].

Дослідження ураганів за допомогою наземних доплерівських радіолокаторів практично не проводилося, хоча така можливість і була

описана в роботі Бейнтон (1979). Вчені Національної лабораторії з вивчення ураганів 14 вересня 1982 р. провели вимірювання в урагані Деббі за допомогою доплерівського радіолокатора 8,2 см діапазону, встановленого на дослідному літаку WP-3D. Сканування променя радіолокатора проводилося в площині, перпендикулярній відкладеному на землі курсу літака. Розподілу відбиваності в горизонтальній площині на висоті 1,5 км над рівнем моря були отримані за допомогою 5 см некогерентного радіолокатора, розташованого під фюзеляжем літака. При поворотах і нахилах літака забезпечувалася стабілізація антени в горизонтальній площині. Висота польоту літака дорівнювала 1,5 км, а радіолокаційні вимірювання проводилися при кінцевому скануванні по повному колу під кутом 1° . На цій стадії розвитку максимальна швидкість вітру в урагані Деббі становила приблизно 35 м/с, що відповідає урагану слабкої інтенсивності. Максимум відбиваності, що спостерігався в смузї дощу на відстані 40 км на схід від центру, дорівнював лише 40 Дбз.

8 ВИДИ ДОПЛЕРІВСЬКИХ МЕТЕОРОЛОГІЧНИХ РАДІОЛОКАТОРІВ

8.1 Метеорологічний поляризаційний доплерівський радіолокатор

На сьогоднішній день дистанційні доплерівські метеорологічні радіолокатори з поляризаційною обробкою сигналів для оперативних служб авіаційних синоптиків є унікальним засобом метеорологічних спостережень, тому що дозволяють в режимі реального часу відслідковувати інформацію про місцезнаходження і переміщення мезомасштабних хмарних утворень, виникнення зон інтенсивних опадів, фіксувати зони небезпечних явищ, в тому числі гроз, граду, шквалів, стежити за їх розвитком і переміщенням. Сучасні ДМРЛ-С мають радіус огляду 250-300 км і дозволяють здійснювати циклічні спостереження з періодичністю від 3 до 15 хвилин в цілодобовому автоматизованому режимі, надаючи дані з високим просторовим дозволом (0,5-1 км) на площі до 200 тис.км².

Радіолокаційна інформація радіолокаторів ДМРЛ-С добре доповнює дані метеорологічних супутників, які для зондування атмосфери використовують пасивні методи, але на відміну від них, спеціально розроблене для радіолокатора ДМРЛ-С програмне забезпечення (ПО ВОІ «Гимет-2010») дає можливість займатися обробкою та інтерпретацією радіолокаційної інформації. Крім того, дозволяє співвідносити метеоявища на мапі ДМРЛ-С з синоптичної ситуації(рис 8.1).

«Гимет-2010» будується тривимірна модель параметрів хмарності, математична обробка якої забезпечує побудова наступних радіолокаційних карт і метеорологічних характеристик:

- 1) максимальної відбиваності в шарі вище 1 км;
- 2) НВГО - висоти верхньої межі хмарності;
- 3) метеорологічних явищ;

- 4) небезпечних метеорологічних явищ;
- 5) інтенсивності опадів;
- 6) накопичених сум опадів;
- 7) інтегральної водності хмар, VIL ;
- 8) ВНГО - висоти нижньої межі хмарності;
- 9) вертикального і горизонтального зрушень вітру;
- 10) турбулентності;
- 11) видимості в опадах;
- 12) контурів небезпечних явищ;
- 13) напрямку і швидкості переміщення хмарних утворень;
- 14) вертикального профілю вітру VW ;
- 15) векторів горизонтального вітру HW на будь-яку р/л карту.



Рисунок 8.1 - Зображення ДМРЛ-С

Найбільш наочним і, як показує практика, затребуваним продуктом ДМРЛ-С є карти метеоявищ, які будуть цікаві, перш за все, для служб, діяльність яких пов'язана з прийняттям оперативних рішень: МНС, УВС, ДАІ, комунального і транспортного управлінь, сільськогосподарських, енергетичних і будівельних галузей, окремі технологічні процеси яких залежать від погодних умов.

Метеорологічна радіолокаційна інформація дозволить з великою ймовірністю виділити райони виникнення небезпечних для галузі явищ, здійснити планування і коригування роботи, забезпечити її безпеку. Зменшення шкоди від небезпечних явищ погоди, дозволить, тим самим, отримувати додатковий прибуток.

Істотною відмінністю ДМРЛ-С(рис. 8.1) від аналогів є застосування технології стиснення імпульсів з рівнем бічних пелюсток стиснення нижче 60 дБ, що досягається за рахунок використання останніх досягнень цифрової техніки. Крім того, застосування складних сигналів дозволило скоротити випромінювання потужності з сотень до десятків кВт. Це дало можливість виключити систему поддува тракту і високовольтні блоки з напругою вище 12 кВ, що підвищило експлуатаційні характеристики локатора(рис. 8.2).

Неповне заповнення променя відбивачами, пов'язане з великою шириною діаграми спрямованості ($4,1^\circ$), а також вплив ослаблення в дощі і підйом антени на 1° для усунення відображень від поверхні моря привели до недооцінки відбиваності в далекій західній частині урагану. За допомогою доплерівського радіолокатора проводилися вимірювання в вертикальних перетинах відбиваності і радіальної швидкості. Були отримані перетини через зовнішню смугу інтенсивного дощу і через око урагану. Висота конвективних хмар не перевищувала 6-8 км. Розподіл швидкостей в цьому перерізі показує, що на нижньому рівні (нижче 1,5 км, з лівого боку) повітря втікає у напрямку до центру урагану[17].

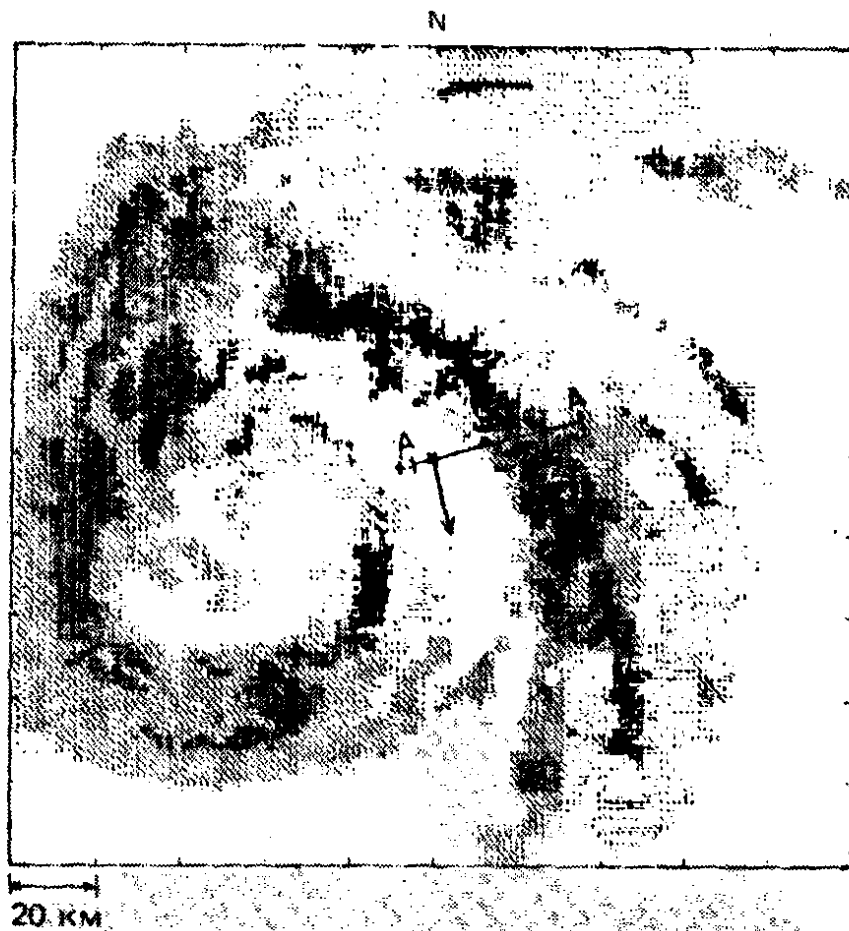


Рисунок 8.2 - Поле відбиваності, отримане за допомогою 5 см літакового радіолокатора в точці, зазначеної значком «X». Час 00 год 19 хв

18с

Цей потік руйнується смугою з різко вираженою конвергенцією, що спостерігається на внутрішньому краю смуги. Поблизу вершини смуги спостерігається витікання повітря. Незважаючи на таку відносно слабку конвекцію, ураган Деббі швидко посилювався, і на наступний день інтенсивність урагану вже була помірною (максимум швидкості близько 50 м/с) (табл. 8.1).

Таблиця 8.1 – Характеристики ДМРЛ-С

Діапазон робочих частот, МГц	5600-5650
антена	дзеркальна, параболічна
коефіцієнт посилення антени, дБ, не менше	45
рівень бічних пелюсток, дБ, не гірше	-29
передавач	клістроний
імпульсна потужність, кВт, не менше	15
тривалість імпульсу, мкс	1,0–60,0
частота зондування, Гц	300–1500
приймач	2/4 канала
динамічний діапазон кожної поляризації, дБ, не менше	100
Коефіцієнт придушення відображень від нерухомих місцевих предметів, дБ, не менше	50
Споживана потужність, кВт, не більше	10

Проведені теоретичні та експериментальні дослідження показали, що досягнутий рівень бічних пелюсток стисненого сигналу (менше 50 дБ) не впливає на можливості визначення відбиваності метеоутворень і класифікації небезпечних метеоявищ при використанні складних сигналів в метеолокації.

Результати порівняльної оцінки основних параметрів спектрів метеоутворень, отримані при використанні простих і складних сигналів, мають високу ступінь подібності. Результати експериментів підтверджують передбачені теорією переваги в порівнянні з традиційним для метеолокації методом ДПФ "понаддозволяючих" методів спектрального аналізу (зокрема, використаних в експерименті модифікацій методів Кейпона і Берга).

Отримані результати підтверджують можливість використання складних сигналів (типу НЧМ з рівнем бічних пелюсток менше 50 дБ) і

«понаддозволяючих» методів спектрального аналізу в метеорадарі. При цьому, при розробці серійних ДМРЛ можливо незалежна зміна роздільної здатності та рівня середньої потужності радіолокатора за рахунок цифрового формування і обробки сигналів.

8.2 Допплерівський метеорологічний радіолокатор Метеор-Метеокомірка

Автоматизований метеорологічний радіолокаційний комплекс (АМКР) «Метеор-Метеокомірка» є високоефективна радіолокаційна система для забезпечення споживачів інформацією про хмарність і пов'язаних з нею небезпечних явищ погоди (сильні зливи, грози, град, шквал) з високою надійністю і оперативністю в найбільш зручному для споживача вигляді.

Комплекс забезпечує повну інтеграцію з радіолокаційною мережею країн СНД.

Можливості:

- передача первинної радіолокаційної інформації по ЛВС;
- створення радіолокаційних архівів за типами даних (відбиваності, радіальна швидкість, ширина спектра, диференціальна відбиваності, диференціальна фаза, питома диференціальна фаза, коефіцієнт взаємної кореляції);
- створення декартових полів радіолокаційних даних для подальшої обробки;
- обробка отриманої інформації з метою отримання додаткових радіолокаційних характеристик (відновлених швидкостей, сум опадів, зсуву вітру, фазового стану гідрометеорів і ін.);
- розрахунок швидкості і напрямку переміщення хмарної системи після кожного циклу спостережень;
- візуалізація діагностики про стан метеорологічного радіолокатора;

- представлення даних спостережень на екрані ПЕОМ у вигляді наступних карт: метеоявищ, висот верхньої межі поля радіоеха, небезпечних явищ погоди, відбиваності в 15 шарах, інтенсивності опадів, кількості опадів за будь-який період часу, контурів небезпечних явищ погоди, швидкості шквалів, видимості в опадах, вертикального перетину по будь-якому азимуту і будь-який авіатрасі, обмерзання по будь-якому азимуту і будь-який авіатрасі, радіальних швидкостей, відновлених швидкостей, ширини спектра диференціальної відбиваності, диференціальної фази, питомої диференціальної фази, коефіцієнта взаємної кореляції, фазового стану гідрометеорів на різних рівнях;
- розрахунок зсуву вітру для кожної глісади;
- можливість подання та передачі даних споживачам в різних форматах: BUFR, RADOB, BMP, T4 та ін.;
- можливість друку карт;
- можливість передачі даних споживачам з використанням різних протоколів передачі, включаючи TCP / IP socket (мережа МЕКОМ);
- можливість побудови композитних карт МРЛ на робочій станції метеорологічної автоматизованої радіолокаційної мережі (РС «МАРС»).

Комплектація:

- доплерівський метеорологічний радіолокатор МЕТЕОР-500С ;
- робоча станція для комплексного та функціонального управління радіолокатором, візуалізації діагностики стану комплексу в реальному режимі часу;
- робоча станція для обробки, аналізу, поширення, візуалізації і інтегрування радіолокаційної інформації;
- спеціалізовані робочі станції споживачів інформації.

У 2007 році був встановлений і діє автоматизований метеорологічний радіолокаційний комплекс (АМКР) "Метеор-МетеоКомірка", до складу якого

входить перший на Україні доплерівський метеорологічний радіолокатор (ДМРЛ) МЕТЕОР-500CDP фірми Selex Si / Gematronik (Німеччина) і спеціальне програмне забезпечення «МетеоКомірка», розроблене ЗАТ« Інститут радарної метеорології »(Росія).

У березні 2013 року проведена модернізація АМКР "Метеор-МетеоКомірка" для функціонування в режимі подвійної поляризації.

АМКР працює в автоматичному режимі з періодом оновлення інформації 10 хвилин. У ДМРЛ використовуються режими "відбиваності", "доплерівська швидкість" і "подвійна поляризація".

Дальність визначення метеооб'єктів в режимі "відбиваності" становить 500 км, визначаються зони хмарності і пов'язані з нею атмосферні явища (буря і зливові опади, гроза, град, шквал, смерч). У цьому режимі можна отримати наступні радіометеорологічні продукти: карти метеорологічних явищ, висоту верхньої межі хмарності, радіолокаційну відбиваність на різних рівнях, видимість в опадах, зони з небезпечними конвективними явищами (сильними зливовими опадами, випадками грози, граду, шквалу, смерчу), зони обмерзання, гідрологічні продукти: карти контурів, зони опадів, карти кількості опадів на заданій площі за довільний період часу або по пунктам.

Дальність визначення метеооб'єктів в режимі "доплерівська швидкість" становить 250 км і дозволяє отримати такі радіометеорологічні продукти: карти радіальних і відтворених швидкостей на різних рівнях, ширину спектра, зрушення вітру в горизонтальній і вертикальній площинах.

У режимі "подвійна поляризація" дальність визначення становить 500км. Дозволяє отримати радіолокаційні дані, за допомогою яких визначається фазовий стан гідрометеорів: диференціальна відбиваність на різних рівнях, диференціальна фаза, питома диференціальна фаза, коефіцієнт взаємної кореляції.

Радіометеорологічна інформація у кодї BUFR цілодобово з періодом оновлення в часі 10 хвилин надходить до споживачів, які мають абонентські

пункти АМКР «Метеор-МетеоКомірка». Це диспетчера РСП "Київцентраеро", екіпажі повітряних суден, які проходять метеопідготовку на брифінгах в підрозділах ДП "УАМЦ", синоптики як свого підприємства, так і Українського Гідрометцентру(рис. 8.3).

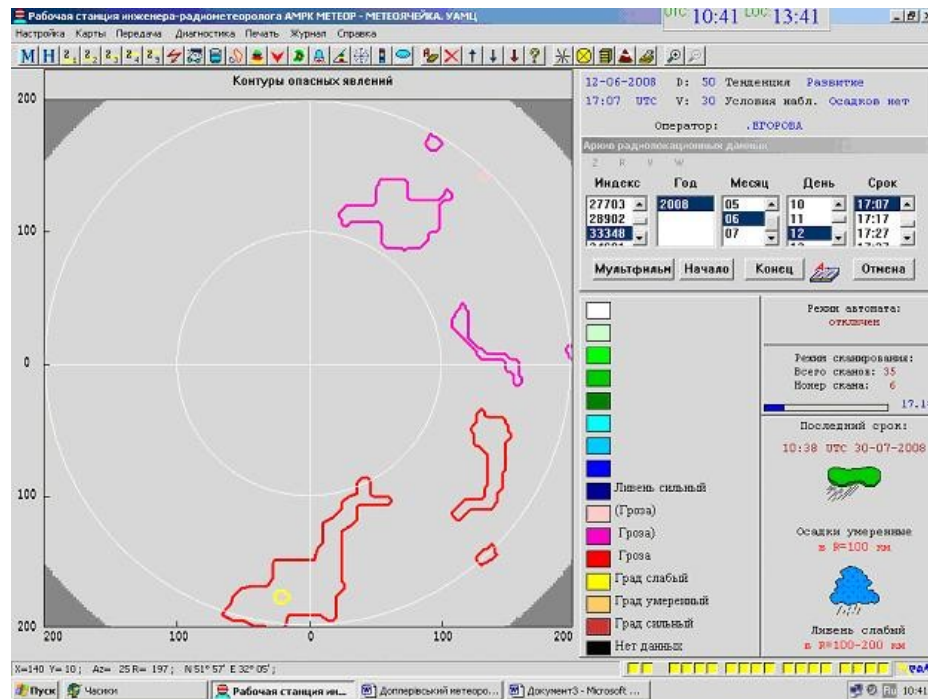


Рисунок 8.3 – Карта контурів небезпечних явищ погоди

Радіометеорологічна інформація про певні штормові осередки в формалізованому вигляді автоматично входить до складу місцевих зведень погоди на аеродромі, і включається до складу інформації радіомовної передачі ATIS. Також ця інформація може передаватися за запитом.

Радіометеорологічна інформація в кодї RADOB передається в банки авіаметданих лініями зв'язку ASPD в синоптичні терміни і в додаткові терміни, при наявності небезпечних явищ(рис. 8.4).

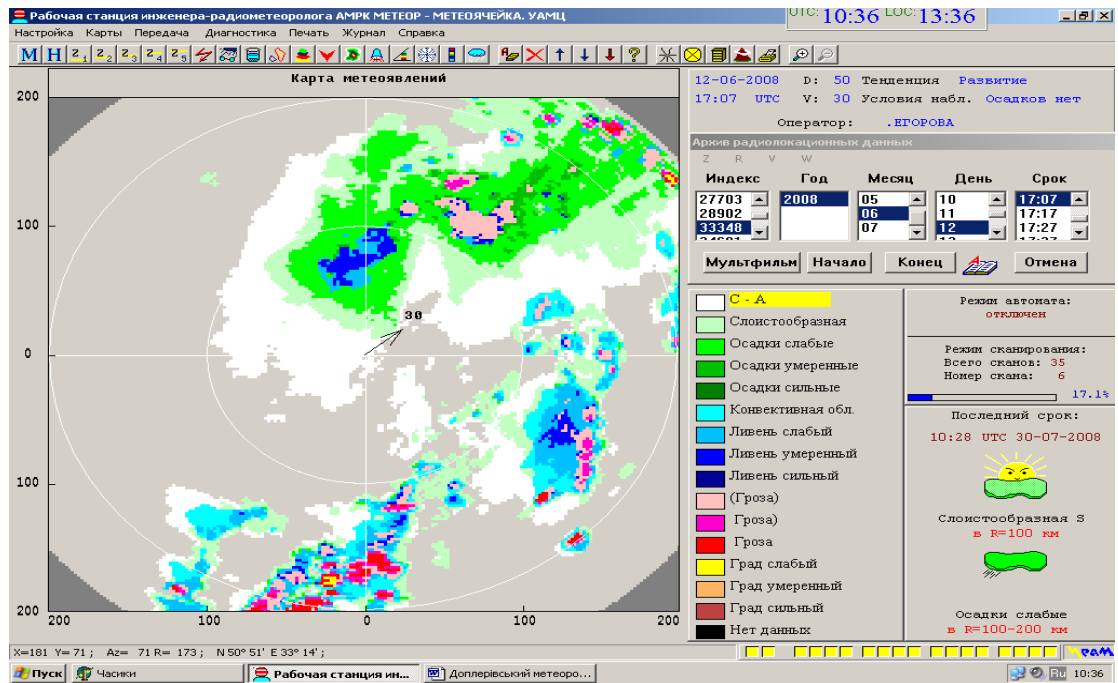


Рисунок 8.4 – Карта метеоявищ зроблена ДМРЛ-Метеор-МетеоКомірка

Програмне забезпечення АМКР "Метеор-МетеоКомірка" дозволяє отримувати не тільки всі перелічені вище метеорологічні та гідрологічні продукти, а й стикується з іншими автоматизованими робочими місцями з прийому аеросіноптичної інформації. Це дає можливість зіставлення цієї інформації з даними наземних станцій, бортових донесень і побудови композитних карт на основі даних інших автоматизованих локаторів входять в багатофункціональну метеорологічну автоматизовану радіолокаційну мережу (МАРС).

9 КОГЕРЕНТНИЙ ГЕТЕРОДИН

Застосування когерентної обробки сигналів в радіолокаційних станціях відкриває додаткові можливості в порівнянні з некогерентним режимом роботи. Це, по-перше, дозволяє використовувати особливості доплерівських спектрів відбитих сигналів для оцінки радіальних швидкостей руху різних об'єктів і, зокрема, для селекції за цією ознакою рухомих цілей на місцевості. По-друге, в багатьох випадках з'являється можливість оцінювати близьке до когерентного накопичення пачки імпульсів і за рахунок цього досягти підвищення відносини сигнал/шум. Реалізація цих можливостей залежить від ступеня когерентності випромінюваного сигналу і опорного, з яким порівнюється прийнятий сигнал після його посилення і перетворення. Для цього формування зондуючого сигналу в передавачі, а також і сигналів гетеродинів в приймачу, проводиться із загального первинного сигналу, частота якого стабілізується кварцом і зазвичай не перевищує сотень мегагерц. У той же час, несуча частота передавача і частота гетеродина приймача може досягати десятків гігагерц. Це призводить до необхідності використовувати або помножувачі частоти, або схеми з фазовим автопідстроюванням НВЧ-автогенератора, сигнал якого після поділу його частоти порівнюється на фазовому детекторі з первинним високостабільним сигналом. Як в першому, так і в другому варіантах стабілізації частот зондуючого сигналу і когерентного гетеродина зростає рівень флуктуацій амплітуди і фази сигналів помноженої частоти в порівнянні з первинним сигналом, причому це зростання тим значніше, чим більше коефіцієнт множення частоти. За діапазоном частот і області спектра флуктуацій фази ці дослідження близькі до проведених нами.

Під час дослідів об'єктами спостереження були сигнали, відбиті від стін будівель, розташованих перпендикулярно променю РЛС, і від цегляної

труби, яка височіла над дахами навколишніх будинків. Відбиваючі об'єкти знаходилися на відстані 300- 700 м. При таких відстанях застосовувалася параболічна антена, що має діаграму спрямованості шириною в обох площинах близько 1° , забезпечувала досить високе придушення відображень від інших місцевих предметів, що контролювалося по картині відбитих сигналів на осцилографі[18].

Отримані дані про інтенсивність фазових флуктуацій і форми їх спектрів дозволили оцінити величину коефіцієнтів придушення потужних відбитих сигналів від предметів місцевості в різних частотних вікнах фільтрової системи СДЦ, використовуваної в розроблюваній РЛС. Для цього спочатку підбиралася аналітична залежність, досить добре апроксимуюча експериментально отриману форму спектра флуктуацій фази. Потім для різних варіантів частотних характеристик фільтрів, що відповідають різним видам «віконних» функцій при спектральній обробці пачок відображених імпульсів, оцінювалася дисперсія флуктуацій фази в них, після чого повизначалося максимально досяжне придушення відображень від нерухомих об'єктів.

10 РОЗРОБКА ЗАДАЮЧОГО ГЕНЕРАТОРА ДЛЯ ДОПЛЕРІВСЬКОГО МЕТЕОРОЛОГІЧНОГО РАДІОЛОКАТОРА

Аналіз схем кварцових генераторів на тунельних діодах.

Висока стабільність частоти у автогенераторів, стабілізованих кварцовим резонатором, може бути отримана при використанні тунельного діода (ТД) в якості активного елемента схеми.

Звичайні діоди при збільшенні прямої напруги монотонно збільшують пропускаємий струм. В тунельному діоді квантово-механічне тунелювання електронів додає горб в вольтамперну характеристику, при цьому, з-за високого ступеня легування р-і областей, напруга пробою зменшується практично до нуля. Тунельний ефект дозволяє електронам подолати енергетичний бар'єр в зоні переходу з шириною 50.. 150. А при таких напругах, коли зона провідності в n-області має рівні енергетичні рівні з валентною зоною р-області. При подальшому збільшенні прямої напруги рівень Фермі-області піднімається відносно р-області, потрапляючи на заборонену зону р-області, а оскільки тунелювання не може змінити повну енергію електрона, ймовірність переходу електрона з n-області в р-область різко падає. Це створює на прямій ділянці вольт-амперної характеристики ділянку, де збільшення прямої напруги супроводжується зменшенням сили струму. Дана область негативного диференціального опору і використовується для посилення слабких надвисокочастотних сигналів.

Кварцові автогенератори на ТД завдяки властивим їм перевагам (гранична простота схеми, мале число елементів, малі габарити і вага, висока стійкість активного елемента схеми - ТД - до впливу радіоактивного випромінювання і т. д.) широко застосовуються в якості задаючих генераторів в схемах еталонів частоти, опорних і технологічних генераторів і в інших радіотехнічних пристроях.

До недоліків схем кварцових автогенераторів на ТД (як втім і звичайних безкварцових автогенераторів на ТД) можна віднести малі коливальні потужності, одержувані від них. Для кварцових автогенераторів це не є суттєвим, оскільки головною вимогою, що пред'являються до таких автогенераторів в більшості практичних застосувань, є вимога високої стабільності генерованої ними частоти.

У вітчизняній і зарубіжній літературі до теперішнього часу є ряд робіт, в яких в основному були запропоновані і аналізувалися чотири схеми кварцових автогенераторів на ТД. Серед них особливий інтерес представляють схеми рис. 10.1-10.4, що працюють на частоті послідовного резонансу кварцового резонатора в осциляторному режимі. Такі схеми не генерують при відсутності кварцового резонатора або при виході його з ладу, а при його включенні збуджуються на частоті, чи майже на частоті послідовного резонансу кварцового резонатора. Ці схеми знайшли найбільше застосування на практиці. Автогенератор з паралельним резонансом являє схему з затягуванням і, як правило, не використовується (рис. 10.1, рис. 10.2).

Незважаючи на простоту схем кварцових автогенераторів на ТД, створення їх і практичне використання переваг ТД як активного елементу автогенератора пов'язане і з певними специфічними труднощами. Головними з них є забезпечення стійкості схеми і усунення паразитної генерації.

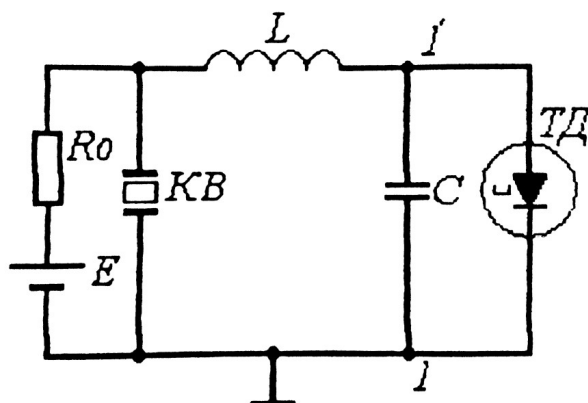


Рисунок 10.1 – Схема автогенератора на ТД з кварцовим резонатором в індуктивній гілці контура

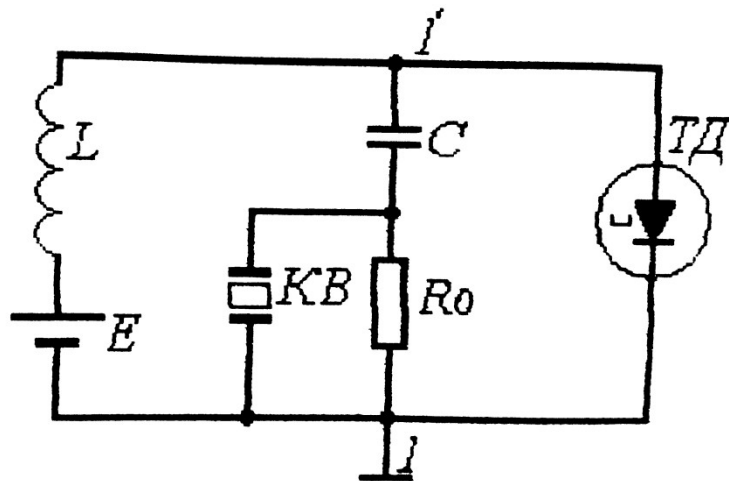


Рисунок 10.2 – Схема автогенератора на ТД з кварцовим резонатором в ємнісній гілці контуру

Аналіз схем кварцових автогенераторів на ТД проводиться квазілінійним методом. Для отримання рівнянь, що описують поведінку кварцових автогенераторів на ТД в стаціонарному режимі, скористаємося способом, запропонованим С. І. Євтяновим. Цей спосіб дозволяє отримувати скорочені рівняння безпосередньо з «символічних рівнянь», добре розроблений і з успіхом застосовується для дослідження лампових і транзисторних автогенераторів з кварцовою стабілізацією частоти. Відповідно до цього способу в загальному випадку скорочені рівняння виходять безпосередньо з укорочених виразів для комплексного опору $Z(\omega)$ або провідності $K(\omega)$ коливальної системи автогенератора. В результаті застосування цього способу до дослідження схем кварцових автогенераторів на ТД можна досить просто отримати основні співвідношення (умови самозбудження, поправку до частоти, рівняння для визначення стаціонарної амплітуди і т. д.), необхідні для інженерного розрахунку якісних і кількісних оцінок різних схем автогенераторів (рис. 10.3, рис. 10.4).

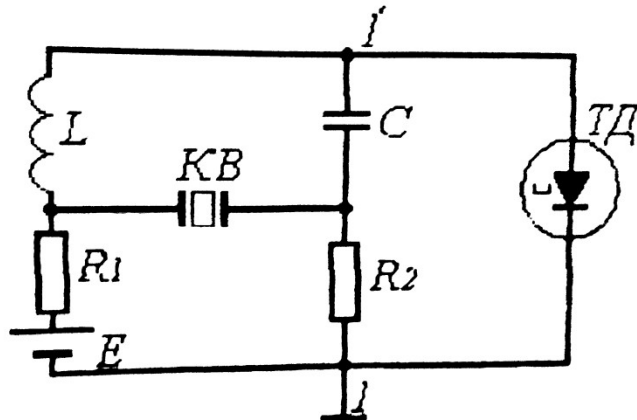


Рисунок 10.3 - Схема кварцового автогенератора на ТД з контуром постійного хвильового опору

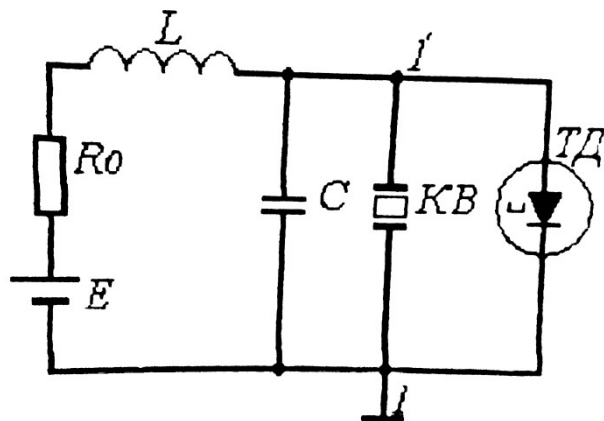


Рисунок 10.4 - Схема кварцового автогенератора на ТД з використанням паралельного резонансу кварцового резонатора

На прикладі схеми, наведеної на рис. 10.1, покажемо, як за допомогою цього способу можна отримати укорочені рівняння, що описують поведінку схеми автогенератора в стаціонарному режимі. Однак, перш ніж записувати укорочені рівняння, зауважимо, що всі зазначені схеми автогенераторів по високій частоті можуть бути представлені у вигляді узагальненої еквівалентної схеми, зображеної на рис. 10.5. двухполюсник¹ представляє

лінійну частину коливальної системи автогенератора, що володіє провідністю $Y(\omega)$, а двухполюсник 2 - середню провідність ТД:

$$Y=1/R=I_{д1}/U_{д}, \quad (10.1)$$

де $I_{д1}$ - амплітуда 1-й гармоніки струму, що протікає через ТД;

$U_{д}$ - амплітуда напруги високої частоти на ТД (або, що те ж саме, на контурі)(рис. 10.5).

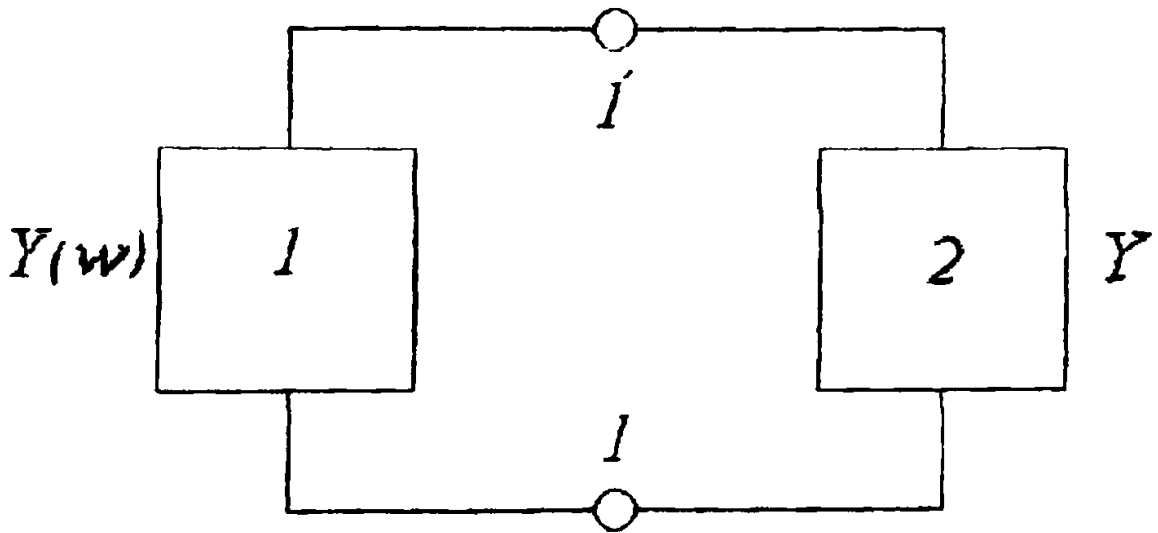


Рисунок 10.5 - Узагальнена еквівалентна схема кварцових автогенераторів на ТД

Оскільки коливальна система будь-якої з розглянутих схем автогенераторів, (рис. 10.1-10.4) являє собою двоконтурну, в такій системі коливання в принципі можуть виникнути на будь-яких з двох власних частот контурів. Однак можна так вибрати параметри першого контуру L, C, R_0 , що схема автогенератора при відключеному або несправному резонаторі буде

стійкою, а при включенні його в схему буде порушуватися на частоті, близькою до частоти послідовного резонансу кварцового резонатора ω_{KB} .

Умови відсутності паразитної генерації в схемах рис. 10.1 10.3 без кварцового резонатора записуються у вигляді наступних двох нерівностей:

$$n < 1, m < 1 \quad \text{для схем рис. 10.1, 10.2,}$$

$$n < 1, m < 2 \quad \text{для схеми рис. 10.3,}$$

де $n = R_0 / |R|$ - відносний опір втрат контуру;

$m = L / C R_0 |R|$ - відносний хвильовий опір контуру.

Виберемо частоту ω_{KB} в якості опорної і складемо вираз для опору контуру автогенератора в точках 1-1' при невеликих відхиленнях частоти генерованих коливань ω_I щодо частоти ω_{KB} . Оскільки частота ω_z в схемі автогенератора на ТД досить стабільна і близька до частоти ω_{KB} в силу високої добротності кварцового резонатора, при записі виразів для реактивних опорів

контуру $jXL = j\omega L$ та $-jXC = \frac{1}{j\omega C}$ можна вважати $\omega \approx \omega_{KB}$.

Комплексний опір еквівалентної схеми заміщення кварцового резонатора при невеликих розладах визначається наступним виразом:

$$Z_{KB} = \frac{r_{KB}(1 + ja)}{1 - \delta_0 \alpha + j \delta_0}, \quad (10.2)$$

де $\alpha = 2Q_{KB}(f_z - f_{KB})/f_{KB} = Q_{KB}2\Delta f/f_{KB}$ - узагальнений розлад, виражений через абсолютний розлад частот сигналів відносно частоти послідовного резонансу $f_{KB} = 1/2\pi\sqrt{L_{KB}C_{KB}}$;

$Q_{KB} = \rho_{KB}/r_{KB} = \sqrt{L_{KB}/C_{KB}/r_{KB}}$ - добротність кварцового резонатора;

$\delta_0 = 2\pi f_{KB}C_{0KB}r_{KB}$ - параметр, що характеризує шунтування кварцового резонатора статичною ємністю C_{0KB} .

Тепер перейдемо безпосередньо до складання укорочених рівнянь для автогенератора, схема якого приведена на рис. 10.1. Вираз для комплексної провідності контура даного автогенератора має вигляд:

$$Y(\omega) = \frac{j(x_L - x_c) + \frac{R_0 z_{KB}}{R_0 + z_{KB}}}{(-jx_c)(jx_L + \frac{R_0 z_{KB}}{R_0 + z_{KB}})} = \frac{j\left(\omega_{KB}L - \frac{1}{\omega_{KB}C}\right) + \frac{R_0 \frac{r_{KB}(1+ja)}{1-\delta_0 a + j\delta_0}}{R_0 + \frac{r_{KB}(1+ja)}{1-\delta_0 a + j\delta_0}}}{\left(-j\frac{1}{\omega_{KB}C}\right)(j\omega_{KB}L + R_0 + \frac{r_{KB}(1+ja)}{1-\delta_0 a + j\delta_0})}. \quad (10.3)$$

Умова стаціонарності режиму для автоколивальної системи, представленої на рис. 10.5 має наступний вигляд:

$$Y(\omega) + Y = 0. \quad (10.4)$$

Підставляючи в (10.4) вираз для еквівалентної провідності ТД $Y = I_{d1}/U_d$ і вираз (10.3) і прирівнюючи дійсну і уявну частини отриманого рівняння нулю, отримуємо рівняння, що дозволяє визначити частоту і амплітуду автоколивань у вигляді:

$$\dot{\omega}. \quad (10.5)$$

$$R = \frac{\frac{r_{KB}}{K} \sqrt{mn\gamma} \left[\sqrt{\frac{mn}{\gamma}} \left(\frac{n}{r} + 1 \right) + n \left(1 - \frac{\delta_0}{r} \sqrt{\frac{mn}{\gamma}} \right) a \right]}{\sqrt{mn} \left(1 - \frac{1}{\gamma} \right) \left(\delta_0 \frac{n}{r} + a \right) + n}. \quad (10.6)$$

У виразах (10.5), (10.6) введено такі позначення: $\gamma = L_{KB} C_{KB} / LC = \omega_0^2 / \omega_{KB}^2$ - міра розладу контура LC щодочастоти ω_{KB} ; $r = r_{KB} / | -R |$ - відносний опір втрат

кварцового резонатора; $|-R|$ - модуль негативного опору ТД; $\omega_0=1/\sqrt{LC}$ - власна частота резонансного контуру, утвореного із LC. Вираз, що стоїть в правій частині рівняння (10.6), має розмірність опору. За аналогією з загальноприйнятими поняттями керуючого опору, широко застосовується в загальній теорії автогенераторів, назвемо цей вислів «керуючим опором» схеми на рис. 10.1 і будемо надалі позначати його R_y .

Якщо в отриманому в такий спосіб рівнянні (10.6) узагальнену расстройку а розглядати як диференціальний оператор d/dt , то з рівняння (10.6) можна відразу отримати укорочені рівняння, що описують процеси в розглянутому автогенераторі.

Оскільки рівняння (10.5) і (10.6) справедливі як при кінцевих амплітудах коливань (в усталеному режимі), так і при нескінченно малих амплітудах (в час самозбудження), то, підставляючи в рівняння (10.6) значення негативного опору $|-R_0|$, відповідне робочій точці на вольтамперній характеристиці ТД, умова самозбудження для всіх трьох схем автогенераторів можна представити у вигляді:

$$R_y \geq |-R_0|, \quad (10.7)$$

або

$$R_y / |-R_0| \geq 1.$$

Вирази для визначення частоти (узагальненого розладу α) і керуючого опору R_y для схеми, наведеної на рис.10.1, можуть бути отримані аналогічно і наводяться до форми рівнянь (10.5), (10.6). Тому відразу запишемо отримані для цієї схеми рівняння:

$$\left[\sqrt{mny} \frac{\delta_0}{r} n^2 + n^2 - \sqrt{mny} \left(\frac{1}{\gamma} - 1 \right) \left(\sqrt{mny} + n^2 \frac{\delta_0^2}{r^2} \sqrt{mny} + \frac{n^2}{r} \delta_0 \right) \right] a^2 + \frac{n^2}{r} \left[\left(\frac{1}{\gamma} - 1 \right) \left(2 \frac{\delta_0}{r} \sqrt{mny} + 1 \right) - 1 \right] a \sqrt{mny} + n \left(\dots \right) = 0 \quad (10.8)$$

$$R_y = \frac{\frac{r_{KB} \sqrt{mny}}{r\gamma} \left[\sqrt{mny} - na + \frac{n}{r} \sqrt{mny} (1 - \delta_0 a) \right]}{n - \sqrt{mny} \left(\frac{1}{\gamma} - 1 \right) \left(a + \frac{n}{r} \delta_0 \right)}. \quad (10.9)$$

Отримані таким же чином рівняння для визначення частоти і керуючого опору, що описують автогенератор, схема якого наведена на рис. 10.3, має вигляд:

$$\left[\sqrt{mny} \left(\frac{1}{\gamma} - 1 \right) \left(n - m - 4 \frac{n^2}{r^2} \delta_0^2 m \right) - \frac{n^2}{r} \delta_0 m \left(\frac{1}{\gamma} + \gamma - 6 \right) \right] \alpha^2 + + \left[8 \frac{n^2 \delta_0 m}{r^2} \sqrt{mny} \left(\frac{1}{\gamma} - 1 \right) + \frac{n^2}{r} m \left(\frac{1}{\gamma} + \gamma - 6 \right) \right] \alpha + \sqrt{mny} \dots \quad (10.10)$$

$$R_y = \frac{\frac{r_{KB}}{r} n \left[2 \frac{mn}{r} (1 - \delta_0 \alpha) - \sqrt{mny} \left(\frac{1}{\gamma} - 1 \right) \left(\frac{n}{r} \delta_0 + \alpha \right) + n + m \right]}{2n - \sqrt{mny} \left(\frac{1}{\gamma} - 1 \right) \left(\alpha + 2 \frac{n}{r} \delta_0 \right)}. \quad (10.11)$$

11 РОЗРАХУНОК КВАРЦЕВОГО АВТОГЕНЕРАТОРА НА ТУНЕЛЬНОМУ ДЮДІ

Початкові дані. Параметри кварцевого резонатора:

$$f_{KB} = 100,02092 \text{ МГц}; r_{KB} = 103 \text{ Ом}; Q_{KB} = 1.7 \times 10^5; C_{0KB} = 4.25 \text{ нФ};$$

$\delta_0 = 2.75 \times 10^{-3}$. В результаті розрахунку вимагається:

- 1) вибрати тип ТД;
- 2) визначити параметри L , C , R_0 контура автогенератора;
- 3) визначити частоту генерації f_z ;
- 4) знайти стаціонарну амплітуду U_r ;
- 5) визначити потужність P_{KB} , розсіювану на кварцевому резонаторі.

1. Вибираємо ТД з арсеніду галію типу АП101А з піковим струмом $I_1 = 1 \text{ мА}$. З вимірів отримуємо: $|-R_0| = 192 \text{ Ом}$; напруга зміщення, що відповідає $|-R_0| = 0,177 \text{ В}$; струм в робочій точці (що відповідає $|-R_0| = 192 \text{ Ом}$) $I_0 = 0,7 \text{ мА}$.

2. Розраховуємо величину відносного параметра r :

$$r = r_{KB} / |-R_0| = 103 / 192 \approx 0,54.$$

3. Для отримання $Ry|-R_0| > 2$ по графікам $Ry|-R|(\delta)$ при $y=1$ вибираємо $m=1$; $n=0,9$.

4. Визначаємо величини параметрів контура L, C, R_0 :

$$R_0 = n|-R_0| = 0,9 * 192 = 173 \text{ Ом};$$

$$L = \frac{r_{KB}}{2\pi f_{KB} r} \sqrt{\frac{mn}{\gamma}} = \frac{1,03 * 10^2}{2 * 3,14 * 10^6 * 0,54} \sqrt{0,9} = 29 * 10^{-6} \text{ Гн} = 0,029 \text{ мГц};$$

$$C = \frac{r}{2\pi f_{KB} r_{KB}} \sqrt{\frac{1}{mny}} = \frac{0,54}{2 * 3,14 * 10^6 * 1,03 * 10^2} \sqrt{\frac{1}{0,9}} = 8,75 \text{ нФ}.$$

5. За формулою знаходимо величину α . Так як значення δ_0 дуже мале, при розрахунку припустимо $\delta_0=0$. Тоді формула буде мати вигляд:

$$\frac{n^2}{r} m \left(\frac{1}{\gamma} + \gamma - 6 \right) \alpha = 0,$$

звідки $\alpha=0$.

6. З співвідношення $\alpha = 2 Q_{KB} (f_r - f_{KB}) / f_{KB} = 0$ знаходимо:

$$f_r = f_{KB} = 100,02092 \text{ МГц}.$$

7. За формулою знаходимо велечину R_γ :

$$R_\gamma = \frac{\frac{1,03 * 10^2}{0,54} \left(2 \frac{0,9}{0,54} + 0,9 + 1 \right)}{2} = 505 \text{ Ом}.$$

Для отримання випромінювання сигналів доплерівського радіолокатора на частоті 10000 МГц, був вибраний кварцевий автогенератор на частоті 100 МГц з подальшим множенням, посиленням потужності і Фазо-кодо-модуляцією.

Уразі, якщо необхідно знайти залежність енергетичних характеристик генератора від параметрів матеріалу (n_0, μ, L) , слід користуватися дійсними характеристиками діода.

8. По графіку експериментальної залежності $R(U_r)$ для вибраного ТД знаходимо, що при $R_\gamma = 505 \text{ Ом}$ величина стаціонарної амплітуди $U_r = 110 \text{ мВ}$ (рис. 11.1).

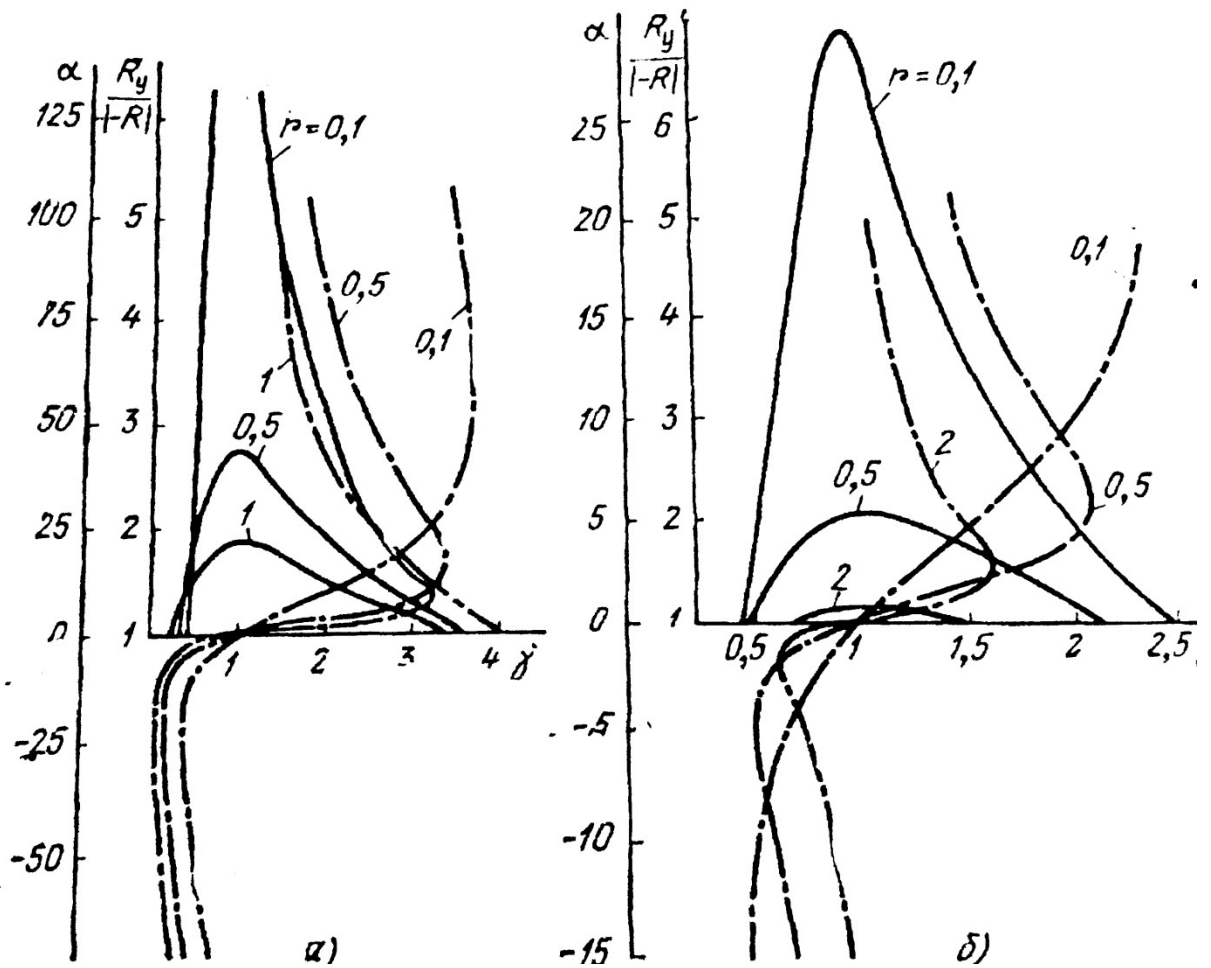


Рисунок 11.1 - Графіки залежностей відносного управляючого опору і узагальненого частотного розладу автогенератора на тунельному діоді:

а) залежність для $n=0,9$;

б) залежність для $n=0,6$

9. Розраховуємо величину потужності, розсіювану на кварцовому резонаторі(рис 11.2):

$$P_{KB} = \frac{U_r^2}{2r_{KB} \left[\left(1 + \frac{n}{r}\right)^2 + a^2 \right]} = \frac{(110 \cdot 10^{-3})^2}{2 \cdot 1,03 \cdot 10^2 \left(1 + \frac{0,9}{0,54}\right)^2} = 8,22 \text{ мкВт}.$$

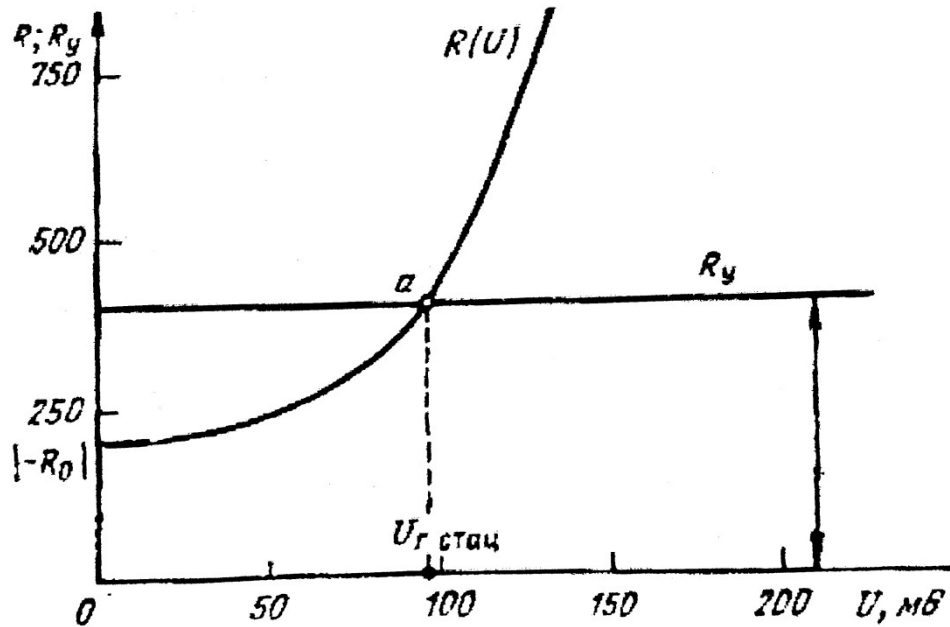


Рисунок 11.2 – Графічне рішення рівняння $R_y = R(U)$

10. Знаходимо величину опору R_1 і R_2 подільника напруги $E=5,66$ В:

$$R_1 = \frac{|-R_0|}{\frac{1}{n} \left(1 - \frac{U_{|-R_0|}}{E} \right) - \frac{I_0}{E} |-R_0|} = \frac{192}{0,9 \left(1 - \frac{0,177}{5,66} \right) - \frac{0,7 \cdot 10^{-3}}{5,66} \cdot 192} = 182 \text{ Ом,}$$

$$R_3 = \frac{\frac{E}{U_{|-R_0|}} - 1}{1 + \frac{I_0}{U_{|-R_0|}} R_1} R_1 = \frac{\left(\frac{5,66}{0,177} - 1 \right) 182}{1 + \frac{0,7 \cdot 10^{-3}}{0,177} \cdot 182} = 3,28 \text{ кОм.}$$

Принципова схема розрахованого кварцового автогенератора на ТД представлена на рис. 11.3.

На цьому розрахунок автогенератора можна вважати закінченим. Знайдені при розрахунку параметри елементів коливальної системи і ланцюги зсуву остаточно уточнюються при регулюванні та налаштування схеми автогенератора.

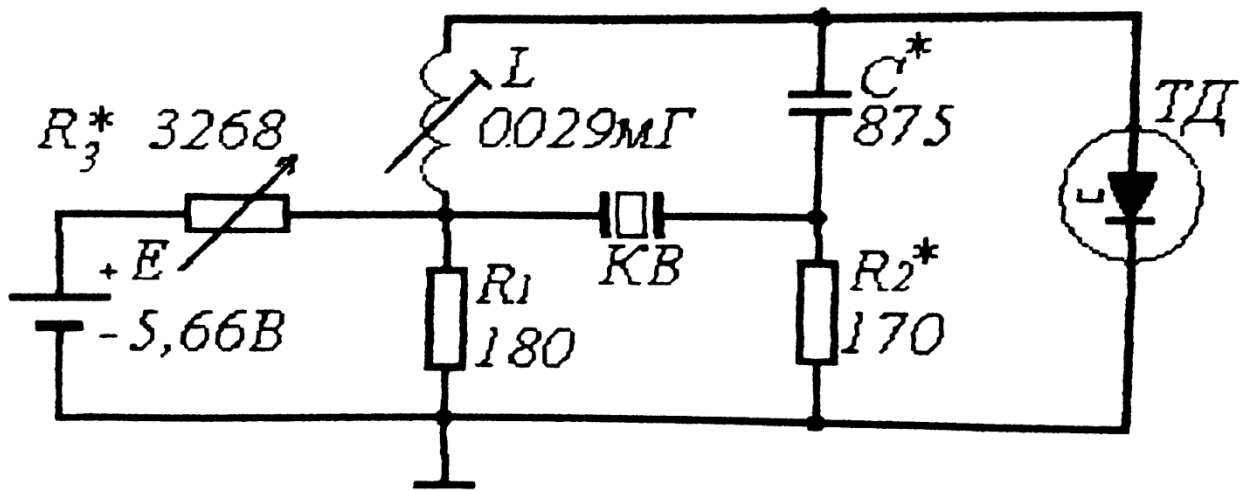


Рисунок 11.3 – Принципова схема кварцового автогенератора на ТД на частоту 100 МГц

12 РОЗРАХУНОК ХАРАКТЕРИСТИК ГЕНЕРАТОРІВ ГАННА

Основними електричними характеристиками генераторів на діодах Ганна, як і генераторів інших типів, являються: діапазон генерованих частот; потужність (у імпульсному або безперервному режимі); коефіцієнт корисної дії; стабільність частоти, характер спектру. Ці характеристики генераторів залежать від параметрів діода Ганна і режиму роботи. Режим визначається схемою генератора і його навантаженням.

Розрахунок генератора на діоді Ганна складатиметься з розрахунку його енергетичних характеристик і розрахунку коливальної системи з елементами підстроювань і схеми живлення[19].

У цьому параграфі розглядається загальний підхід до аналізу основних енергетичних характеристик генераторів на діодах Ганна, який ілюструється окремими прикладами розрахунків. В результаті енергетичного розрахунку визначається в першу чергу потужність, що віддається в навантаження, ккд, а також вимоги до коливальної системи і джерела живлення. При розрахунку коливальної системи, усіх елементів схеми, розробці конструкції генератора в цілому виникають ті ж завдання, що і при розробці інших діодних генераторів НВЧ - генераторів на ТД і на ЛПД, шляхи рішення яких відомі і досить широко висвітлені в літературі.

Щоб розрахувати основні характеристики генераторів, необхідно передусім знати вольтамперные характеристики діодів Ганна. Потім необхідно врахувати вплив НВЧ нуля в кожному конкретному режимі роботи на характеристики генератора. Це можна зробити двома шляхами.

При першому шляху розглядається робота діода Ганна, навантаженого на паралельний або послідовний контур. В цьому випадку в якості незалежних змінних задаються частота ненавантаженого контура і опір навантаження R_n . Потім визначаються потужність генератора, ккд, залежність

характеристик генератора від напруги живлення і фізичних параметрів діода і т. д. Оскільки опір навантаження залежно від положення діода в резонаторі може мінятися в широких межах при незмінній напрузі живлення, то вибір опору навантаження в якості незалежної змінної виявляється незручним [20].

При другому шляху заданими передбачаються амплітуда і частота НВЧ поля на діоді і розраховуються усі характеристики генератора, у тому числі і опір навантаження (амплітуда НВЧ поля пов'язана безпосередньо з опором навантаження). Другий шлях виявляється найбільш зручним, оскільки, по-перше, величина амплітуди НВЧ поля на діоді може бути експериментально визначена, і, по-друге, в окремих випадках вдається побудувати аналітичну теорію генератора на діоді Ганна [21].

При відомих вольтамперною характеристиці діода Ганна (усі параметри її задаються) і формі напруги на діоді неважко визначити форму струму через діод, постійні складові струму і напруги, амплітуди складових першої, другої і т. д. гармонік, опір навантаження, потужність і ккд.

Вольт амперна характеристика діода Ганна, в загальному випадку аналітично не описується (особливо її динамічна гілка). Тому у кожному конкретному випадку користуються різними апроксимаціями статичної і динамічної гілок характеристики. Це необхідно для того, щоб при відомій формі напруги аналітично описати форму струму, поточного через діод Ганна. Після цього або за допомогою аналітичних виразів, або за допомогою чисельних розрахунків можна визначити усі необхідні характеристики генератора і по них аналізувати його роботу і знаходити оптимальні умови для неї [22].

Розглянемо визначення форми струму через діод Ганна в загальному випадку. Статичну гілку вольт амперної характеристики діода Ганна при $U < U_n$ опишемо залежністю динамічну гілку – залежністю I'_2 . Якщо діод поміщений в резонансну систему, то напруга на ньому може бути представлена сумою постійної і змінної напруги, тобто:

$$U(t) = U_0 + U_1 f(t). \quad (12.1)$$

При високій добротності резонансної системи можна нехтувати вищими гармоніками і вважати, що прикладена до діода Ганна напруга дорівнює:

$$U(t) = U_0 + U_1 \sin \omega t, \quad (12.2)$$

де $\omega = 2\pi/T$;

T - період коливань.

Якщо напруга, що діє на діоді, має складну форму, то її можна представити у вигляді суми гармонійних складових (ряду Фур'є). Форма струму через діод визначається за вольтамперною характеристикою діода при заданій формі напруги. Наприклад, якщо діод Ганна працює в режимі із затримкою утворення домена при пороговій напрузі, час рекомбінації і формування домена малий в порівнянні з періодом коливань і форма напруги на діоді синусоїдальна, то форма струму визначається за вольтамперною характеристикою у вигляді циклу ABCDEFA. Оскільки період коливань $T > t_1$ - часу прольоту домена, то після зникнення домена у момент t_1 робоча точка перейде з D в E і переміщатиметься відповідно до зміни напруги на діоді за статичною характеристикою діода. Отже, в цьому випадку струм через діод може бути записаний у виді:

$$I(t) = \begin{cases} I_2' [U(t)]_{\text{нпу}} & 0 < t < t_1, \\ I_1' [U(t)]_{\text{нпу}} & t_1 < t < T. \end{cases} \quad (12.3)$$

При роботі діода Ганна в режимі з придушенням доменів при пороговій напрузі (час формування і рекомбінації домену малий в порівнянні з періодом коливань, форма напруги синусоїдальна) форма струму визначається циклом ABCDEFA

тобто ділянками характеристики $I_1(U)I_2'$ впродовж проміжків - часу $0-t_1$ та t_1-T . Аналогічно визначають форму струму i в інших випадках.

Отримане вираження для струму через діод можна представити у вигляді суми гармонійних складових (ряду Фур'є). При цьому визначаються постійна складова струму через діод I_0 і амплітуди гармонік (першою, другою і т. д.).

Щоб розрахувати потужність, що віддається в навантаження по першій гармоніці, величини навантаження і ккд генератора, визначають постійну складову напруги на діоді U_0 , амплітуду першої гармоніки напруги U_1 , постійну складову струму через діод I_0 , і амплітуду першої гармоніки струму через діод I_1 , синфазної з напругою U_1 .

У цьому випадку потужність, розсіювана в діоді, буде дорівнювати:

$$P_0 = U_0 I_0, \quad (12.4)$$

потужність, яка дається в загрузку на частоті першої гармоніки, складе:

$$P_1 = U_1 I_1 / 2. \quad (12.5)$$

Опір навантаження на основній частоті дорівнює:

$$R_n = U_1 / I_1, \quad (12.6)$$

ккд генератора на частоті першої гармоніки:

$$\eta = \frac{P_1}{P_0} 100\%. \quad (12.7)$$

Наведені міркування справедливі і для характеристик генератора на вищих гармоніках. Для визначення еквівалентних реактивних провідностей

необхідно знайти амплітуди гармонік струму, зсунутих по відношенню до гармонік напруги на $\pi/2$. Обчислення, пов'язані з визначенням характеристик генераторів на діодах Ганна, не складні, але можуть бути досить трудомісткими. Їх трудомісткість залежить від виду залежностей I_1' і I_2' . Якщо обрані апроксимації ділянок $I_1'(U)$ і I_2' складні, то можна зробити лише чисельні розрахунки. Якщо вибрані апроксимації прості і при робочих умовах добре відповідають дійсним залежностям, то шукані характеристики можуть бути записані аналітично. Найбільш простою і близькою до дійсної характеристики являється двохпрямолінійна апроксимація. При цьому реальна характеристика діода Ганна замінюється двома прямолінійними ділянками. Нахил однієї ділянки OA відповідає опору діода Ганна в слабкому електричному полі, інший паралельний осі напруги. Така апроксимація справедлива для великих n_0L і великої напруги на діоді Ганна[23].

Уразі, якщо необхідно знайти залежність енергетичних характеристик генератора від параметрів матеріалу (n_0, μ, L), слід користуватися дійсними характеристиками діода.

Приведені міркування справедливі для аналізу роботи діода Ганна в різних режимах при різних схемах включення(рис 13.1)[24].

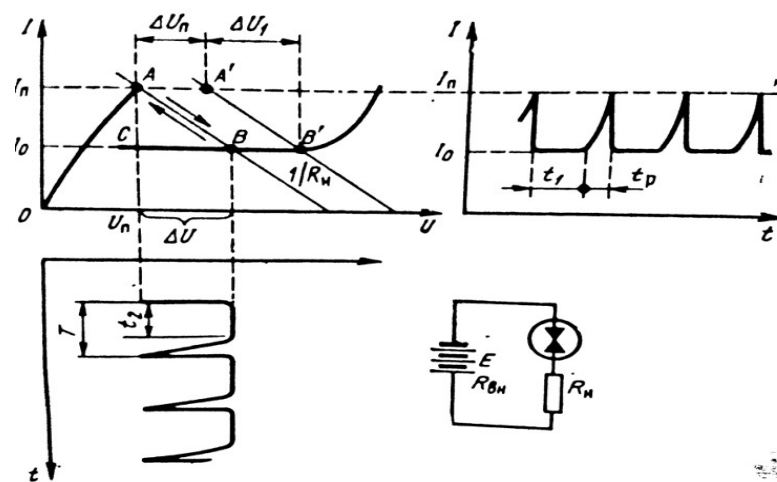


Рисунок 12.1 - Ілюстрація роботи діода Ганна з резистивним навантаженням в пролітному режимі

ВИСНОВКИ

Гетеродин - малопотужний генератор електричних коливань, застосований для перетворення частот сигналу в супергетеродинних радіоприймачах, приймачах прямого перетворення, хвилеміри тощо.

Спочатку гетеродином називали радіоприймач, в якому був додатковий генератор високої частоти, налаштований на частоту, близьку до частоти сигналу, що підвищувало чутливість радіоприймача. Надалі, після винаходу супергетеродина, гетеродином стали називати цей генератор[25].

Гетеродин створює коливання допоміжної частоти, які в блоці змішувача змішуються з коливаннями високої частоти. В результаті змішування двох частот, вхідної і гетеродина, утворюються ще дві частоти (сумарна і різницева). Ця частота використовується як проміжна частота, на якій відбувається основне посилення сигналу.

До гетеродина встановлюються високі вимоги по стабільності частоти і амплітуди, а також спектральної чистоти гармонійних коливань. Чим вище ці вимоги, тим складніше конструктивне виконання гетеродина: стабілізують напругу живлення, застосовують складні схеми, що виключають вплив зовнішніх факторів на частоту генератора, компоненти зі спеціальними властивостями, гетеродин поміщають в термостат, використовують системи автоматичного підстроювання частоти і т. д. Якщо гетеродин працює на фіксованій частоті, застосовують стабілізацію за допомогою кварцового резонатора. У сучасній радіоапаратурі все частіше застосовують цифрові синтезатори частоти, які мають ряд переваг.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ

1. Автоматизированный метеорологический радиолокационный комплекс «Метеор—Метеоячейка». Руководство по эксплуатации 73-1887РЭ. — Selex Sistemi Integrati, GmbH, 2006.
2. Автоматизированный метеорологический радиолокационный комплекс «Метеор—Метеоячейка». Инструкция по монтажу, настройке, регулированию и прогону 73-1887ИМ. — Selex Sistemi Integrati, GmbH, 2006.
3. Автоматизированная информационная система (АИС) «МетеоСервер». Руководство по эксплуатации ИТАВ. 416311.007РЭ. — ЗАО ИРАМ, 2005.
4. Голд Б., Рэдер Ч. Цифровая обработка сигналов. — Советское радио, 1973. 368 с.
5. Довиак Р., Зрнич Д. Доплеровские радиолокаторы и метеорологические наблюдения. — Л.: Гидрометеиздат, 1988. 512 с.
6. Казакевич Д. И. Основы теории случайных функций и ее применение в гидрометеорологии. — Л.: Гидрометеиздат, 1977. — 320 с.
7. Международный код FM 94 BUFR. — FM 94 BUFR Collected papers and specification/European Center for Medium-Range Weather Forecasts, Feb. 1998. Рекомендация 3 КОС-ХП, 2001.
8. Метеорологическое обеспечение международной авиации. Приложение 3 к Конвенции о международной гражданской авиации. Часть I. Основные SARPS. Часть II. Добавления и дополнения. Изд. 15-е. — ИКАО, 2004.
9. Метеорологические автоматизированные радиолокационные сети / Коллективная монография ИРАМ. — СПб: Гидрометеиздат, 2002. 332 с.

10. Метеорологическое , оборудование аэродромов и его эксплуатация / Коллективная монография ИРАМ. — СПб: Гидрометеиздат, 2003. 592 с.
11. Контроль и нормализация электромагнитной обстановки, создаваемой метеорологическими радиолокаторами / Госкомгидромет СССР и Мин здрав СССР. — JL: Гидрометеиздат, 1990. 63 с.
12. Наставление по метеорологическому обеспечению гражданской авиации России (НМО ГА-95). — Изд. Росгидромета и Минтранса РФ, 1995.
13. European organization for the Safety of Air navigation. Eurocontrol standard Document for Radar Data Exchange. Part 3. Transmission of Monoradar Derived Weather Information (SUR.ET1.ST05.2000-STD-03-01).
14. Radar Data Quality — Ensuring Procedures at European Weather Radar Stations / M. Divjak et al. OPERA/9/1999. Final document, 1999, p. 12.
15. Yanting Wang, Chandrasekar V. Adaptive clutter identification and filtering using subspace processing technique. — Proc. Fourth European Conf. on Radar in Meteorology and Hydrology (Proc. ERAD 2006). — Barcelona, 18—22 Sept., 2006, p.75.
16. Павлов Н. Ф. Аэрология, радиометеорология и техника безопасности. — Л.: Гидрометеиздат, 1980. 432 с.
17. Рыжков А. В. Поляризационная селекция в доплеровских метеорологических РЛС. — Труды ГГО, 1991, вып. 535, с. 118.
18. Рыжков А. В. Метеорологические объекты и их радиолокационные характеристики. — Зарубежная радиоэлектроника, 1993, № 4, с. 17.
19. Рыжков А. В. Поляризационные методы метеорологической радиолокации. — Зарубежная радиоэлектроника, 1993, № 4, с. 18—28.
20. Ryzkov A. The effect of nonuniform beat filling on the quality of radar polarimetric data. — Proc. Fourth European Conf. on Radar in Meteorology and Hydrology (ERAD 2006). — Barcelona, 18—22 Sept., 2006, p. 245.

21. Ryzkov A., Nydak D., Scott J. A new polarimetric scheme for attenuation correction at C-band. — ERAD 2006, p. 29—32.
22. 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.
23. Євдокимов А. І., Комяк В. А., Мележик І. Н. та ін. Когерентний радіолокатор міліметрового діапазону для огляду льотного поля // Прикладна радіоелектроніка. 2003.443 с.
24. Довідник по радіолокації. Т. 3 / Под ред. М. Сколнік.- М .: Сов. Радіо, 1979.232 с.
25. 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.

Додаток А

Графічна частина магістерської роботи

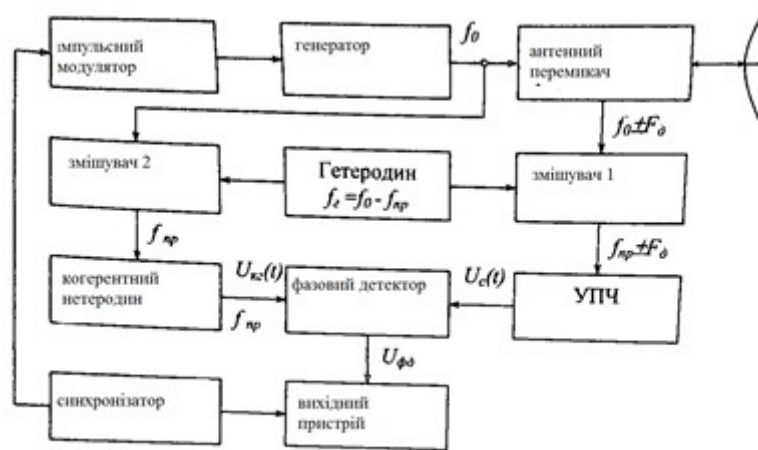


Рисунок А.1 – Функціональна схема псевдо когерентної імпульсної РЛС

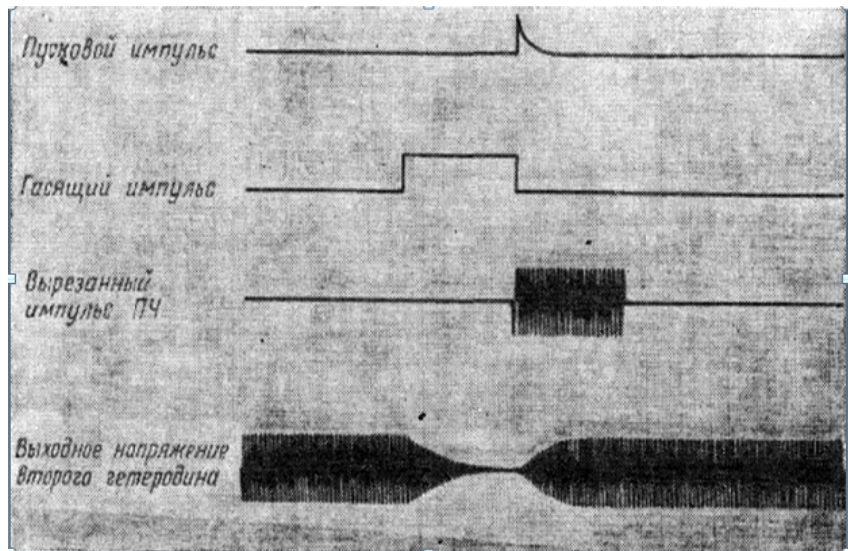


Рисунок А.2 – Часова діаграма маніпулюючого гетеродина

ВСТУП

Метеорологічні радіолокатори сьогодні є унікальним засобом метеорологічних спостережень, яке може забезпечити в режимі реального часу точну інформацію про місцезнаходження і характер переміщення зон інтенсивних опадів, гроз, граду на великих територіях. Сучасний локатор виробляє циклічні спостереження з періодичністю від 3 до 15 хвилин в цілодобовому автоматизованому режимі, надаючи дані з високим просторовим дозволом (1 км) на площі до 200 тис.км² (радіус зони радіолокаційного огляду - 250км).

Рисунок А.3 – Вступ магістерської роботи

ВИСНОВКИ

Гетеродин - малопотужний генератор електричних коливань, застосовуваний для перетворення частот сигналу в супергетеродинних радіоприймачах, приймачах прямого перетворення, хвилеміри

Гетеродин створює коливання допоміжної частоти, які в блоці змішувача змішуються з коливаннями високої частоти. В результаті змішування двох частот, вхідної і гетеродина, утворюються ще дві частоти (сумарна і різницева). Ця частота використовується як проміжна частота, на якій відбувається основне посилення сигналу.

Рисунок А.4 – Висновки магістерської роботи