**Лекція №3 Радіодальноміри (2 години)**

І. Вступ

ІІ. Основна частина.

1. Терміни та визначення. Загальні відомості про принципи побудови радіомерів.

2. Радіодальноміри з відповідачем. Літакний далеко-мір СД-75. Основні параметри.

ІІІ. Заключення

Література: №№1, 2, 3 стр.:

 Радіодальноміри є складовою апаратури ближньої та дальньої навігації. Вони призначені для вимірювання лінійної координати, або координат між ВС і радіонавігаційною точкою (РНТ).

 При визначенні розташування повітряного судна (ВС) за допомогою радіосистеми ближньої навігації, РНТ розташована на земній поверхні. Крім виміру відстані між РНТ і ЗС необхідно визначити азимут, тобто. положення лінії дальності в горизонтальній площині щодо опорного напрямку, що проходить через радіонавігаційну точку. Визначення розташування ВС зводиться до відшукання (фіксації) точки перетину кола, відповідної виміряної дальності і радиальної лінії, кутове положення якої задано величиною виміряного азимуту. Все сказане ілюструється на рис.5.

 Для зручності та оперативності визначення місцезнаходження ВС у горизонтальній площині наносяться сітки ліній положення. Для азимутальних вимірів – це радіальні лінії, а далекомірних – це кола.

Кожна лінія положення характеризується постійною величиною A = const, D = const. Крок сітки азимутів і дальностей визначається похибками радіотехнічних вимірювачів (радіодалекоміра та радіокутомера).

С

Опорное направление

 Северного меридиана

ЛП-2

(A=const)

 ЛП-1

(D=const)

ВС

А

Д

РНТ

Рис. 5

 При визначенні розташування ЗС за допомогою системи дальньої навігації необхідно на борту ПС вимірювати відстані до декількох радіонавігаційних точок з відомими координатами, розташованих як на земній поверхні, так і в космічному просторі. Системи дальньої навігації з розташуванням РНТ в космосі звуться супутникових радіонавігаційних систем (СРНС).

 Безвідносно до області базування опорних радіонавігаційних точок місцезнаходження ВС в заданій системі координат знаходиться як точка перетину трьох поверхонь положення - сфер, для яких вимірювані відстані Di, i = 1,3 є константами. На практиці місце розташування об'єкта (ВС) визначається або в географічній, або в геоцентричній системі координат.

Для визначення місця розташування ВС з використанням СРНС необхідно використовувати систему навігаційних рівнянь. Якщо в якості системи координат вибрати прямокутну декартову систему з початком в центрі Землі, то рівняння дальності між РНТi з відомими координатами Xi, Yi, Zi і невідомими Xc, Yc, Zc (С-літак) запишеться у вигляді

 Di2 = (Xi - Xc) 2 + (Yi - Yc) 2 + (Zi-Zc) 2;

 Система рівнянь з трьох дальностей Di I = 1,3 дозволяє визначити шукані координати Xc Yc Zc на момент часу ti (момент вимірювання дальностей).

Розглянемо принцип дії радіодальноміру системи ближньої навігації.

 У РСБН на землі і на борту НД є комплект приймально-передавальної апаратури. Для спрощення опису принципу дії РД назвемо комплект наземної апаратури ретранслятором. Тоді спрощена схема РД матиме вигляд, поданий на рис. 6.

 Хронізатор генерує і формує імпульсні сигнали із заданою тривалістю, амплітудою та частотою проходження. Радіопередавач, установлений на борту ПС, випромінює радіоімпульси частотою).

Приймач

Хронізатор

Вимірювач

дальності

Передавач

Ретранслятор

Мал. 6.

 Радіоприймач, встановлений на борту ПС, приймає та обробляє ретрансльований сигнал.

Вимірник дальності перетворює час проходження сигналу між ВС та ретранслятором у відстань D згідно з виразом ,

 

де tп = час проходження сигналу до ретранслятора і назад у мкс, з - швидкість поширення електромагнітних хвиль.

 При ідеальному хронізаторі помилка вимірювання відстані визначається сталістю швидкості поширення радіохвиль. Експериментально встановлено, що відносні зміни швидкості поширення лежать у межах .

Тоді граничне значення мінімальної помилки виміру дальності в РСБН становитиме

 

 При дальності 500 км: DD = 500×10-5 = 5м.

У системах дальньої навігації (РСДН) з наземним базуванням радіонавігаційних точок застосовуються фазові далекоміри. Спрощена схема фазового далекоміра наведена на рис. 7.

Рис. 7.

А2

А1

ЛА

РНТ

Генератор 1

Модулятор

Підсилювач поужності

мощности

Генератор 2

 (ВЧ)

Вимірювач

 фази

Приймач

Д

ІД – індикатор дальності

Мал.7

 Генератор Г1 є загальним для РНТ та НД. Практично це два взаємно синхронізовані генератори, один з яких знаходиться на землі, а другий на ПС.

Питання жорсткої синхронізації тут не розглядаються

Наземний генератор Г1 виробляє напругу

U1=UM1Sinj1 =Um1Sin(Wmt+j0)t.

Um1 = const-амплітуда, j0 -початкова фаза, Wm -низька частота генерації.

 Коливання частоти Wm модулюють по амплітуді коливання високочастотного генератора Г2, які посилюються підсилювачем потужності і випромінюються в простір.

 Приймач, розташований на борту ПС, приймає ці коливання і де-тектує їх. В результаті на виході приймача виділяється напруга

 U2=Um2Sinj2 =Um2Sin[Wm (t+tд)+ φ0 - φпр],

де Um2-амплітуда прийнятого сигналу, φпр - фазовий зсув у ланцюгах приймача, tД -час поширення сигналу

між РНТ та НД.

Вимірювач фази міряє різницю

 φp=φ1-2φ=WmtД+φпр.

Для спрощення можна прийняти jпр = 0.

Тоді D=Cφp/Wm=Mφp де М-постійний коефіцієнт.

Оскільки М залежить лише від Wm, Wm часто називають масштабною частотою. Для однозначного визначення D необхідно виконати умову jp 2p, або D < lм, де lм - довжина хвилі модулюючої частоти.

Помилка виміру дальності становитиме

DD = Cjp / Wm = (0,01 ... 0,03) lm.

При точності фазометра порядку (0,01...0,03)2p.

 У системах далекої навігації з космічним базуванням РНТ (супутникових навігаційних системах) використовуються далекоміри із взаємно синхронізованими еталонами часу (годинником). Спрощений принцип дії таких далекомірів зводиться до наступного.

 Припустимо, що опорна радіонавігаційна точка (супутник) непод-вижна, координати відомі точно, а бортовий годинник супутника точно синхронізовані з бортовим годинником ВС, званого далі споживачем.

У певний момент часу по бортових годинниках супутника включається радіопередавач. Оскільки передавач і приймач споживача знаходяться на відстані D (рис. 8), то через час у момент часу сигнал передавача досягне приймача.

 Шукана відстань визначається як

 

Диференціюючи даний вираз і переходячи до кінцевих прирощенням, отримаємо при C = const,

 

Передавач

спутніка

Приймач

споживача

Д

t1

t2

t1

часы

часы

Рис. 8.

 де dtD/dt - швидкість розбіжності шкал супутникового і бортового годинника, Dt - час польоту.

 Якщо помилка далекоміра не повинна збільшуватися більш ніж на 1 км за 10 годин роботи (час польоту ВС 10 годин), то нестабільність годинника повинна бути не гіршою за 10-10. Така нестабільність відповідає похибки розбіжності годинника. 3 сік за 100 років.

 У реальних умовах експлуатації супутники СРНС рухаються по відомим орбітам, з відомою швидкістю. Тому реальний сигнал, випромінюваний кожним супутником досить складний. Він має назву далекомірного сигналу, який містить далекомірний код та інформаційне повідомлення про параметри руху конкретного супутника

 

де XGi(t) - далекомірний код, Dci(t) - код даних у параметрах руху i-того супутника, f0 - несуча частота супутникового передавача.

Розглянемо принцип дії, апаратурний склад та основні тактико-технічні характеристики далекомірного каналу радіосистеми ближньої навігації VOR\DME, що використовується на міжнародних авіаційних лініях.

VOR-VHF Omnidirectional Radio Range - всеспрямований маяк УКХ діапазону;

DME – Distanse Measurement Equipment (Presision) – обладнання для вимірювання дальності (точне).

Принцип дії каналу DME не відрізняється від принципу дії відповідного каналу РСБН.

 Бортове обладнання каналу дальності системи VOR\DME на вітчизняних літаках цивільної авіації представлено літаковим даль-номером СД-75.Дальномір встановлюється на ПС, що виконують закордонні рейси

Основні параметри далекоміра СД-75:

Частотний діапазон, МГц

передавача …1025…1150,

приймача …962…1213.

Число частотно-кодових каналів …252.

Діапазон дальностей, що вимірюються, км …0…740.

Похибка вимірювання дальності, м,

у діапазоні дальностей

0 ... 20 км ... 200 м

0 ... 560 км ... 400 м

Потужність від мережі 115 В ,

400 Гц ВА …190

Маса, кг :

запитувача (без амортизаційної рами), кг …10

всього комплекту… 26

Об'єм, дм

запитувача (без амортизаційної рами) …9,8

пульта управління… 2,2

Параметри імпульсів запиту, мкс

tu = 1,5, tкср = 21, Fсл = 30Гц.

Параметри імпульсів відповіді, мкс

tu = 1,5, tкср = 16, Fсл = 30Гц.

Спрощена блок-схема каналу дальності DME наведено на рис. 9.

D

**Пульт**

**керування**

**Формувач**

**запросного**

**сигналу**

**Вимірювач**

**дальности**

**Формирователь**

**ВЧ сигнала**

**Шифратор**

**Дешифратор**

**Модулятор**

**Приймач**

**Підсилювач**

**потужності**

**Циркулятор**

**Передавач**

**відповідача**

**Шифратор**

**відповідача**

**Дешифратор**

**Приймач**

**відповідача**

Мал. 9.

 Тракт формування і передачі запитного сигналу містить формувач високочастотної несучої в діапазоні 1025 ... 1150 МГц. Крок сітки частот, що встановлюються на пульті керування дорівнює 1 МГц.

Формувач запитного сигналу генерує вихідну послідовність стандартних за тривалістю, частотою та амплітудою імпульсів.

З виходу формувача імпульси надходять на шифратор, де формуються двоімпульсні посилки з величиною кодового інтервалу tк, що встановлюється на пульті управління.

У модуляторі здійснюється імпульсна (амплітудна) модуляція високочастотного сигналу кодованими групами імпульсів з виходу шифратора.

 Кінцевий підсилювач доводить потужність сигналу запиту до 0.7 …2,5 кВт імпульсу.

Отриманий сигнал через циркулятор надходить у радіоканал запиту.

У відповідь сигнал формується в приймально-передавальному тракті відповідача, який містить приймач, дешифратор запиту каналу, шифратор сигналу запиту і передавач сигналу відповіді.

Випромінені відповідачем сигнали надходять через циркулятор, що забезпечує незалежну роботу тракту передачі та прийому запитувача, на вхід приймального тракту запитувача. Після дешифрації відеосигнал стандартної амплітуди і тривалості надходить на вхід вимірювача дальності. На другий вхід вимірювача надходить відеосигнал від запитувача шифратора запитувача.

Вимірник дальності вимірює часовий інтервал між імпульсами сигналів запиту та відповіді. При цьому використовується цифровий метод вимірювання. Дискретність відліку дальності

дорівнює 0,05 км.

 Вимірювач дальності забезпечує автоматичний пошук і захоплення «свого» сигналу у відповідь, а також видає необхідні контрольні сигнали готовності вимірювання дальності до ретранслятора.

 Спрощені часові діаграми роботи далекоміра СД-75 в режимі вимірювання дальності наведені на рис.10.

 Робота вимірювача дальності в режимі пошуку і авто супроводу відповідного сигналу досить складна і в загальних рисах зводиться до наступного.

 Початок режиму пошуку «свого» сигналу у відповідь починається з посилки першої імпульсної послідовності запиту.

 1.5 МГц).≈З появою другого запитного імпульсу здійснюється запуск двійкового лічильника, який заповнюється високочастотною тактовою послідовністю імпульсів (ft

 Число, що набирається лічильником, порівнюється з заздалегідь записаним в запам'ятовуючому пристрої числом, що відповідає початковій дальності пошуку .

tз=D/c

t=tз+t0

t0=D/c

τкo

1/F3

τкз

fз

f0

0

1

2

3

4

5

6

7

8

9

**Мал.10 111111101010.**

0 - ФЗС; 1 – Шифратор запитувача; 2 – Підсилювач; 3 – Вхід відповідача; 4 – Дешифратор відповідача; 5 – Шифратор відповідача; 6 - Передавач відповідача; 7 – Вхід приймача запитувача; 8 – Дешифратор; 9 - Вимірювач дальності.

 Схема порівняння в момент збігу змінного числа в лічильнику і постійного числа в пристрої запускає генератор стро-ба, який виробляє широкий і вузький стробуючі імпульси.

 Широкий спрацюючий імпульс відкриває приймальний тракт запитника і дозволяє проходження будь-якого імпульсу у відповідь. Перший будь-який «свій» або «чужий» (обов'язковий запитам інших ВС) через схему електронного ключа забороняє проходження рахункових імпульсів на лічильнику.

 Тому записане число відповідає дальності.

 У середині періоду повторення імпульсів запиту дальності формувач запитувальних імпульсів виробляє сигнал, який веде перепис вмісту лічильника в запам'ятовуючому пристрої, а також обнулює лічильник і формувач широкого строба.

 У наступному періоді повторення імпульсів запиту дальності в пристрої, що запам'ятовує, виставлено число, відповідне . Отже, формувач широкого строба буде запущений в пізніший момент часу, ніж це було в першому циклі зондування.

 При цьому в лічильнику запишеться число, що відповідає дальності , так як він зупиниться лише за наявності сигналу відповіді або перешкоди, які прийшли під час формування широкого імпульсу, що стробує.

Таким чином, записане в лічильнику та ЗУ число з кожним періодом повторення імпульсів запиту дальності зростає, що викликає зсув широкого стробуючого імпульсу.

 Вузький стробуючого імпульсу виробляється в момент початку формування широкого стробуючого імпульсу і в наступному періоді повторення запитних імпульсів пошук починається з дальності.

Якщо «свій» імпульс відповіді дальності відсутня, то робота лічильника припиняється при його переповненні та в наступному періоді повторення запитних імпульсів пошук починається з дальності.

 «Свій» імпульс відповіді дальності на відміну від імпульсів перешкод і відповідних імпульсів інших ВС завжди затриманий на один і той же час щодо імпульсів запиту.

 Цей імпульс в одному з тактів роботи запитувача збігається з вузьким стробуючого імпульсу і пройде в контрольний пристрій, який керує вузьким стробуючого імпульсу. Одночасно цей імпульс залишає лічильник. У цьому такті записане запам'ятовуючий пристрій число відповідає істинній дальності.

Контрольний пристрій підраховує кількість істинних імпульсів дальності, що надійшли на нього. Коли це число перевищить деякий поріг (наприклад, 8),

то видається сигнал «стеження», що дозволяє використання даних ЗУ для візуалізації істинної дальності.

 Відповідно до словесного портрета функціонування вимірника дальності його блок схема виглядає наступним чином (див. рис. 11)

**"Стеження"**

**("Готовність Д")**

**Генератор счетных імпульсів**

**Лічильник**

**Генератор стробов**

**Контролючий**

**пристрой**

**Схема керування**

**Електронний ключ**

**Запам'ятовуючий пристрій**

**Схема**

**перезапису**

**Схема порівнянь**

Від формувача запитного сигналу

**Імпульс відповіді**

Мал.11