

**МІНІСТЕРСТВО ВНУТРІШНІХ СПРАВ УКРАЇНИ
ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ВНУТРІШНІХ СПРАВ
КРЕМЕНЧУЦЬКИЙ ЛЬОТНИЙ КОЛЕДЖ**

Циклова комісія авіаційного і радіоелектронного обладнання

ТЕКСТ ЛЕКЦІЇ

з навчальної дисципліни «Основи авіаційної радіоелектроніки та автоматики»
вибіркових компонент
освітньо-професійної програми першого (бакалаврського) рівня вищої освіти

***272 Авіаційний транспорт
(Аеронавігація)***

**За темою № 3 - Основи побудови радіо передаючих та радіоприймальних пристроїв, умови та засоби випромінювання радіосигналів.
Зовнішні канали передачі даних**

Кременчук 2023

ЗАТВЕРДЖЕНО

Науково-методичною радою
Харківського національного
університету внутрішніх справ
Протокол від 30.08.23 № 7

СХВАЛЕНО

Методичною радою
Кременчуцького льотного коледжу
Харківського національного
університету внутрішніх справ
Протокол від 28.08.23 № 1

ПОГОДЖЕНО

Секцією науково-методичної ради
ХНУВС з технічних дисциплін
Протокол від 29.08.23 № 7

Розглянуто на засіданні циклової комісії авіаційного і радіоелектронного
обладнання, протокол від 28.08.2023 № 1

Розробник: викладач циклової комісії авіаційного і радіоелектронного
обладнання, спеціаліст вищої категорії, викладач-методист
Стущанський Ю.В.

Рецензенти:

1. К.т.н., спеціаліст вищої категорії, викладач-методист циклової комісії
авіаційного і радіоелектронного обладнання Шмельов Ю.М.
2. Заступник директора з ОЛР, командир авіаційного загону ТОВ «ЕЙР
ТАУРУС» Гетьман Ю.Ю.

План лекцій:

1. Призначення та класифікація засобів авіаційного радіозв'язку.
2. Основні вимоги до авіаційних радіостанцій та їх параметри.
3. Особливості побудови бортових радіостанцій.

Рекомендована література:

Основна

1. В.П. Харченко, І.В. Остроумов. Авіоніка. Навчальний посібник. К.: НАУ, 2013.-272с.
2. О.О.Чужа. Авіаційні радіоелектронні системи / О.О.Чужа, О.Г. Ситник, В.М. Хімін, О.В. Кожохіна. – К.:НАУ, 2017. – 264с.;
3. В.О. Рогожин. Пілотажно-навігаційні комплекси повітряних суден. / В.О. Рогожин, В.М. Синеглазов, М.К. Філяшкін. Підручник. – К.: НАУ, 2005. – 316с
4. В.П.Харченко Авіоніка безпілотних літальних апаратів / В.П. Харченко, В.І.Чепіженко, А.А.Тунік, С.В.Павлова. – К.: ТОВ «Абрис–принт», 2012. – 464 с.
5. А.В.Скрипець.Теоретичні основи експлуатації авіаційного обладнання. Навч. посіб. / А.В. Скрипець. – К.:НАУ, 2003. – 396с.;
6. А.П.Бамбуркін, В.Н.Неделько, М.И.Рубец. Аеронавігаційні радіотехнічні системи. Навчальний посібник/ Під.ред. М.И.Рубця — Кіровоград. Вид-во ГЛАУ, 2002.- 520с.
7. Ю.В.Стущанський. Комп'ютерні інтегровані системи авіоніки. Навчальний посібник. КЛК НАУ. 2011. – 182 с.

Допоміжна

1. В.П. Бабак. Безпека авіації / В. П. Бабак, В. П. Харченко, В. О. Максимов та ін. –К. : Техніка, 2004. – 584 с.;
2. Харченко В.П. Радіомаячні системи ближньої аеронавігації: навч. посіб. / В.П. Харченко, В.Г. Мелкумян, О.П. Сушич. – К. : НАУ, 2011. – 208 с.;
3. Харченко В.П. Авіоніка безпілотних літальних апаратів / В.П. Харченко, В.І. Чепіженко, А.А. Тунік, С.В. Павлова]; за ред. В.П. Харченка. – К. : ТОВ «Абрис-принт», 2012.– 464с.;
4. Конспекти лекцій з базової підготовки технічного персоналу згідно вимог Part-66, Part-147 (Модуль 3, 4, 5, 13, 14)

Інформаційні ресурси в Інтернеті:

1. Системи індикації ПС. <https://studfiles.net/preview/6810198/page:28/>
2. Бортова система попередження зіткнень
http://search.ligazakon.ua/l_doc2.nsf/link1/TM058196.htm
3. HELLI — TAWS http://www.fcs-modification.com/?go=news&n=6&new_language=

Текст лекції.

1. Призначення та класифікація засобів авіаційного радіозв'язку.

Авіаційний повітряний електрозв'язок є основним засобом зв'язку органів ОПР з екіпажами ПК (двосторонній електрозв'язок «повітря–земля») та між екіпажами ПК, які перебувають у польоті, а також засобом отримання сигналів радіомаяків з місця лиха. Його організовують згідно зі структурою повітряного простору України, визначеною державними нормативними документами. В органах ОПР, підприємствах, організаціях та установах ЦА на підставі прийнятої структури повітряного руху розробляють схеми організації авіаційного повітряного електрозв'язку.

Авіаційний повітряний електрозв'язок у ЦА України призначається для таких видів обслуговування:

- районного диспетчерського ОПР;
- диспетчерського обслуговування підходу;
- аеродромного диспетчерського обслуговування повітряного руху;
- польотно-інформаційного обслуговування;
- для рятувальних та пошуково-рятувальних робіт;
- для автоматизованого обміну даними;
- для виробничо-комерційної діяльності.

Для двостороннього електрозв'язку «повітря–земля» органів ОПР з екіпажами ПК використовується радіотелефонний зв'язок і (або) автоматизований обмін цифровими даними.

Авіаційний повітряний електрозв'язок здійснюється засобами авіаційного радіозв'язку діапазону ДВЧ і як резервними, так і іншими засобами авіаційного радіозв'язку. Засоби авіаційного радіозв'язку діапазону ДВЧ є основними.

Перелік каналів авіаційного повітряного електрозв'язку, їхні радіодані та режими роботи наводяться у збірниках аеронавігаційної інформації.

Засоби авіаційного повітряного електрозв'язку диспетчерського ОПР мають забезпечувати:

- прямий, оперативний, безперервний та вільний від радіозавад двосторонній електрозв'язок «повітря–земля»;
- постійну готовність до роботи без пошуків і частотного підстроювання та можливість циркулярного передавання повідомлень;
- високу якість електрозв'язку.

Можливе також використання вибіркового виклику ПК.

Правила авіаційного електрозв'язку в ЦА ставлять вимоги до надійності авіаційного повітряного електрозв'язку. Авіаційний радіозв'язок з ПК вважається втраченим, якщо протягом 5 хв з використанням усіх можливих каналів авіаційного повітряного радіотелефонного зв'язку на неодноразові виклики по кожному з них екіпаж (диспетчер) не відповідає. У разі порушення авіаційного радіозв'язку екіпаж ПК і орган ОПР повинні вжити відповідних

заходів для його відновлення. Для забезпечення стійкого та надійного авіаційного повітряного електрозв'язку обладнання кожної авіаційної станції має бути резервованим.

2. Основні вимоги до авіаційних радіостанцій та їх параметри.

Параметри сучасних радіостанцій повинні задовольняти вимоги ІКАО. Основні параметри засобів зв'язку. Якість передавання інформації системи зв'язку в цілому залежить від параметрів радіостанції (засобів зв'язку), які утворюють цю систему зв'язку. Параметрами, які характеризують ту чи іншу радіостанцію, є:

- клас випромінювання;
- кількість каналів зв'язку;
- стабільність частоти;
- потужність випромінювання передавача радіостанції;
- чутливість приймача радіостанції;
- ширина пропускання приймача;
- величина загасання бічних випромінювань.

Під класом випромінювання розуміють вид сигналів на виході передавачів або на вході приймачів. В авіаційних радіостанціях клас випромінювання – це рід робіт, позначається трьома і більше знаками. Клас випромінювання характеризується типом модуляції (амплітудна, односмугова, частотна, фазова, імпульсна); характером сигналів, які модулюють головну несучу (аналоговий, дискретний, цифровий); видом інформації, яка передається (телефонія, телеграфія, дані і т. ін.).

Для детальнішої класифікації радіовипромінювання обов'язковий тризначний символ доповнюють двома знаками: особливістю сигналів, які передаються (типи кодів, телеграфної передачі, телевізійного сигналу); видом ущільнення (частотне, часове, комбіноване).

Вимоги до параметрів бортових радіостанцій метрового діапазону. Під діапазоном робочих частот розуміють область радіочастот, у межах якої радіостанція може дискретно перестроюватися.

Розподіл частот – досить складна проблема і регламентується міжнародною згодою. Крок ґратки частот визначає, з якою дискретністю перестроюється радіостанція в межах робочого діапазону. Нормами ІКАО визначаються як робочий діапазон, так і крок ґратки частот. Натепер діапазон частот, який призначений для радіозв'язку на метрових хвилях (МХ), становить 118...137 МГц. Для радіостанцій діапазону МХ прийнято клас випромінювання АЗЕ, що означає амплітудну модуляцію з двома боковими смугами з використанням одного каналу аналогових сигналів для передачі телефонного (неперервного) повідомлення.

Стабільність частоти – параметр, який значною мірою визначає якість зв'язку. Допустимі відхилення частот кількісно характеризуються відношенням

$f\Delta\sum f$, де $\sum\Delta f$ – сумарне відхилення частоти Δf , яке за нормами ІСАО не повинно перевищувати $\pm 0,0005\%$ від присвоєної частоти f .

Кількість фіксованих частот у межах робочого діапазону радіостанцій метрового діапазону визначається кроком ґратки частот. Нормами ІСАО допускається рознесення каналів діапазону МХ 100, 50, 25 і 8,33 кГц. Але зараз застосовують рознесення каналів 25 кГц (радіостанції старого парку) і рознесення при 8,33 кГц, який визначається часткою від ділення 25 кГц на 3. Перехід на частотні присвоєння з кроком ґратки частот дозволяє збільшити кількість каналів з 760 до 2280 і втричі – роздільну здатність зв'язку в діапазоні МХ. Потужність радіостанції залежить від її призначення і діапазону робочих частот. Часто для бортових радіостанцій обмежується величина потужності через неможливість розміщення на ПК великогабаритних і високоефективних антен, збільшення напруги у вихідних каскадах передавача тощо. У більшості випадків ефективна випромінювана потужність повинна бути такою, щоб створювати напруженість поля в точці приймання не менше 20 мкВ/м (густина потоку потужності мінус 120 дБ·Вт/м²) з розрахунку поширення у вільному просторі на відстанях та висотах, які відповідають робочим умовам експлуатації ПК.

Коефіцієнт глибини модуляції передавача повинен бути не меншим ніж 0,85 за наявності систем утримання постійного значення цього коефіцієнта.

Під чутливістю розуміють мінімальний рівень сигналу на вході приймача, за якого забезпечується нормальна робота вихідних каскадів бортового приймача, а відношення сигнал/шум на виході детектора більше або дорівнює трьом (10 дБ). Нормами передбачено, що напруженість поля на вході приймача має бути не меншою за 75 мкВ/м (густина потоку потужності мінус 109 дБ·Вт/м²).

Ширина смуги пропускання приймача залежить від спектра частот сигналів, які приймаються, рівня шумів, класу випромінювання, стабільності частот синтезатора і швидкості польоту ПК. Вимоги до ширини смуги пропускання бортової радіостанції визначають смугу ефективного приймання у разі відхилення від несучої частоти не більше ніж на 8 кГц.

Потреба визначати величину придушення бічних випромінювань виникає через недосконалість радіопередавачів, у яких, крім головних випромінювань, генеруються ще й бічні випромінювання на гармоніках (паразитні, комбінаційні та інтермодуляційні).

Придушення бічних каналів. Приймач радіостанцій забезпечує ефективне придушення бічних каналів таким чином:

- в умовах рознесення каналів 25 кГц: 50 дБ і більше в разі відхилення 25 кГц від присвоєної частоти і 40 дБ або більше за відхилення 17 кГц;
- в умовах рознесення каналів 50 кГц: 50 дБ і більше в разі відхилення 50 кГц від присвоєної частоти і 40 дБ або більше за відхилення 35 кГц;
- в умовах рознесення каналів 100 кГц: 50 дБ і більше в разі відхилення 100 кГц від присвоєної частоти.

На практиці приймач повинен забезпечити характеристику ефективного придушення бічних каналів на 60 дБ і більше за відхилення 25, 50 і 100 кГц від присвоєної частоти; це стосується приймачів, які призначені для роботи в умовах рознесення каналів 25, 50 і 100 кГц відповідно.

Вимоги ІКАО до радіостанцій метрових і декаметрових хвиль. Характеристики бортових радіостанцій ВЧ діапазону «повітря – земля», які використовуються в авіаційній рухомій службі, мають відповідати таким технічним вимогам.

В односмуговому режимі (SSB) радіостанції повинні працювати на будь-якій несучій (опорній) частоті, що є у розпорядженні авіаційної рухомої (R) служби в діапазоні частот 2,8...22,0 МГц, необхідної для виконання затвердженого плану присвоєння частот по регіонах, у яких передбачено використовувати цю систему радіозв'язку. Причому ця частота відповідає положенням Регламенту радіозв'язку.

Кількість каналів у діапазоні декаметрових хвиль (ДКМХ) – близько 280000 з дискретним кроком частоти 100 Гц. Тобто бортове обладнання ДКМХ має працювати із ґраткою з дискретним кроком частоти 100 Гц.

Для передавання (приймання) використовується бічна смуга, що лежить у верхній частотній половині каналу відносно несучої (опорної) частоти. Як показано на рисунку, передавачі авіаційних станцій подавляють несучу на 40 дБ щодо максимальної потужності обвідної для P_m до класу випромінювання J3E, J7B або J9B.

3.Особливості побудови бортових радіостанцій.

Для організації авіаційного радіозв'язку застосовують такі види ведення зв'язку (рис.1):

- дуплексний зв'язок – вид зв'язку, за якого інформація передається одночасно в обох напрямках каналу зв'язку (можливий напівдуплексний зв'язок, коли зв'язок між двома станціями відбувається по черзі по незалежних каналах у прямому і зворотному напрямках, як при симплексному зв'язку);
- симплексний зв'язок – вид зв'язку, за якого інформація передається по черзі в одному напрямку каналу зв'язку (можливий одноканальний симплексний зв'язок, тобто симплексний зв'язок з використанням одного частотного каналу в обох напрямках);
- циркулярна передача – одночасне передавання інформації, яка не адресована конкретній станції або станціям зв'язку. Така передача може бути з підтвердженням і без підтвердження прийому інформації;
- передача «наосліп» – передавання інформації з однієї станції зв'язку до іншої в умовах, коли встановити двосторонній зв'язок неможливо, але припускається, що станція, яку викликають, може прийняти інформацію.

За дуплексного радіозв'язку передача в одному і в другому напрямках ведеться зазвичай на різних несучих частотах. Це роблять для того, щоб

приймач приймає сигнали тільки від передавача з протилежного пункту і не приймає сигналів власного передавача.

Симплексний зв'язок використовують, як правило, за наявності відносно невеликих інформаційних потоків. Для об'єктів з великим навантаженням характерний дуплексний зв'язок.

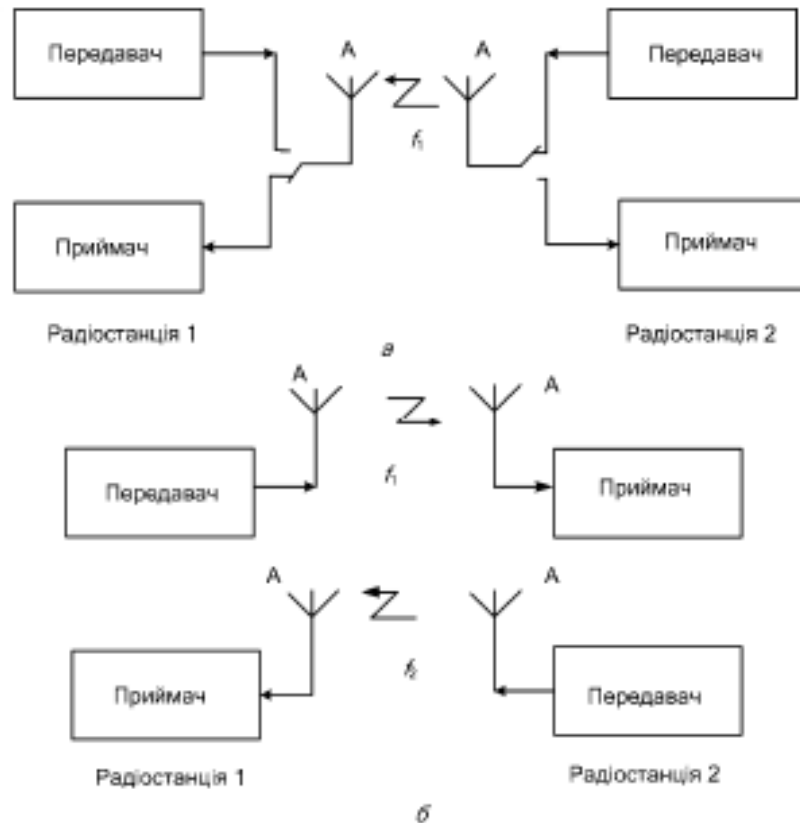


Рисунок 1- Схеми організації радіозв'язку:
а- симплексна, б – дуплексна

Способи організації зв'язку: радіомережа і радіо напрямом. Якщо необхідно мати радіозв'язок з великою кількістю об'єктів, організовують радіомережу (рис.2, а). Одна радіостанція, яка називається головною, може передавати повідомлення як для одного, так і для декількох підлеглих об'єктів. Її радіооператор слідкує за порядком у радіомережі і встановлює черговість роботи на передачу до підлеглих станцій. Останні за відповідного дозволу можуть обмінюватися інформацією не тільки з головною радіостанцією, а й між собою.

Спосіб організації зв'язку між двома кореспондентами називається радіонапрямком і застосовується для забезпечення передавання великих потоків повідомлень. При цьому застосовується зазвичай дуплексний зв'язок на різних частотах приймання й передавання (рис. 2 б)

Дальність зв'язку визначається потужністю передавачів і чутливістю приймачів, а також умовами поширення радіохвиль, які неоднакові для МХ і ДКМХ. Відомо, що МХ поширюються прямолінійно, і дальність зв'язку в

діапазонах МХ обмежується дальністю прямої видимості. Найбільш ефективним способом збільшення дальності зв'язку на ДВЧ є використання автоматичних активних ретрансляторів. Активний одноканальний ретранслятор будується на базі двох ДВЧ радіостанцій. Ретранслятор можна встановлювати на літаку, вертольоті або підвішувати на повітряній кулі. Він приймає сигнали на одній частоті і ретранслює на іншій.

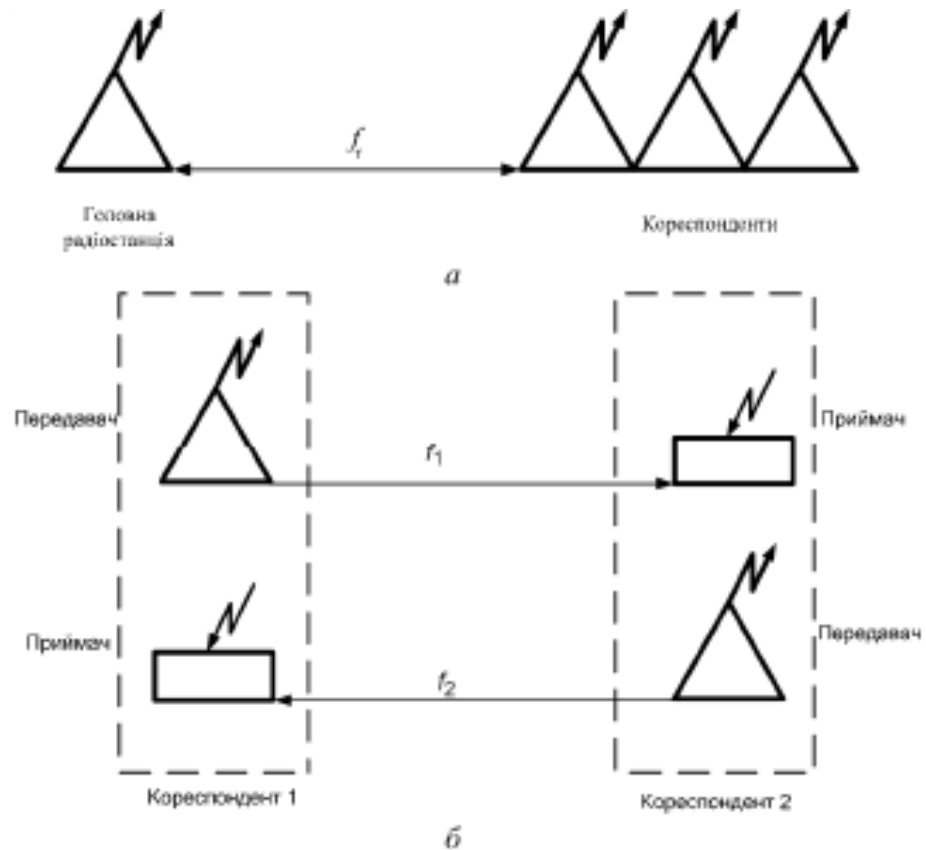


Рисунок 2-Способи організації зв'язку.

У короткохвильовому діапазоні дальність зв'язку визначається дальністю поширення просторових радіопроменів і технічними параметрами передавача, приймача й антенно-фідерного пристрою.

У каналі радіозв'язку (рис. 3) сигнали формуються модуляцією параметрів несучого коливання. Несуче коливання $u(t)$ являє собою коливання постійної амплітуди U_m з фазою, що змінюється лінійно, тобто

$$u(t) = m \cos(\omega_0 t + \phi),$$

де $\phi = \omega_0 t$, а ω_0 – частота несучого коливання.

Розрізняють три основні параметри повідомлення, що піддаються модуляції: амплітуду, частоту й фазу. Розглянемо ті види модуляції, які широко застосовуються в авіаційному радіозв'язку. При цьому будемо вважати амплітудну й частотну телеграфії як окремі випадки амплітудної й частотної модуляції, коли модульовальний процес має два дискретні значення амплітуди

(0, U_m) в амплітудній телеграфії й два значення частоти (f_1 , f_2) у частотній телеграфії.



Рисунок 3- Структурна схема каналу радіозв'язку.

До літакових радіостанцій ставлять жорсткі вимоги максимальної простоти керування й обслуговування, надійної роботи за температури навколишнього середовища від -60 до $+60$ ° С у середовищі з відносною вологістю повітря до 98%, якщо атмосферний тиск відповідає зміні висоти від 0 до 25...30 тис. м, а також у разі вібрацій й ударних навантажень тощо. Задоволення цих вимог досягається автоматизацією керування радіостанцією, герметизацією основних блоків, амортизацією й раціональним розміщенням апаратури зв'язку на літаку.

Радіостанції на літаках мають забезпечувати швидке безпошукове входження в зв'язок і безпідстроюване його ведення. Це досягається стабілізацією робочих частот радіостанції одним з методів, що розглянуті вище. Крім того, потрібно передбачати можливість дистанційного керування й виходу на зовнішній зв'язок через внутрішньокабінний переговорний пристрій.

Типову електричну структурну схему радіостанції діапазонів ДВЧ зображено на рис.4.

До складу радіостанції входять такі основні елементи: синтезатор частот СЧ, приймальний ПРМ і передавальний ПРД тракти, система дистанційного керування СДК і пульт керування ПК.

Синтезатор частот, крім формування ґратки частот радіостанції й гетеродинних частот для приймача, забезпечує настроювання частоти збудника передавача.

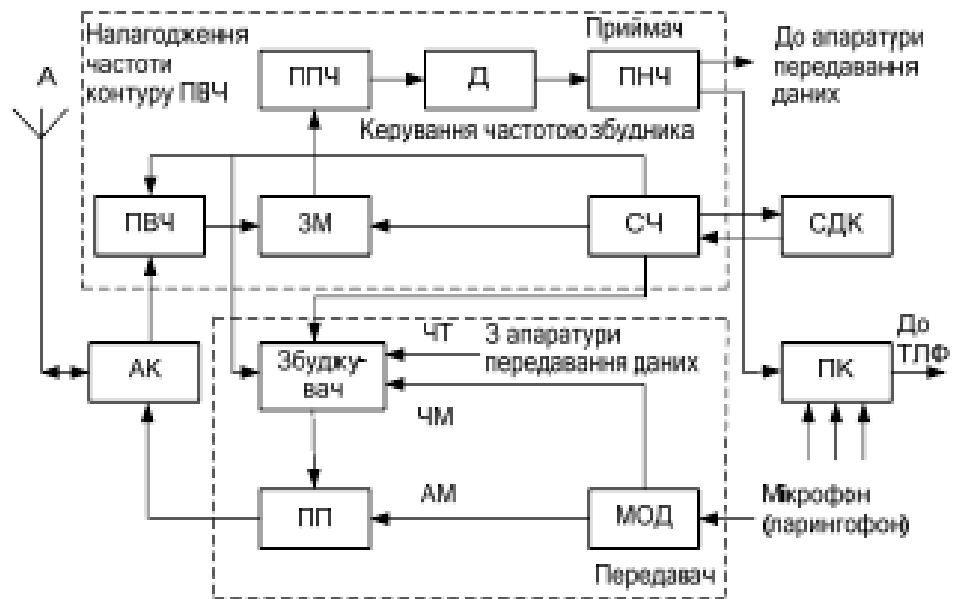


Рисунок 4- Електрична структурна схема типової радіостанції ДВЧ.

Приймальний тракт радіостанції виконується за супергетеродинною схемою з подвійним перетворенням частоти в діапазоні ДВЧ. Високочастотний сигнал через антенний комутатор АК надходить до підсилювача високої частоти ПВЧ, що забезпечує посилення сигналу порівняно з широкою смугою пропускання. Підсилювач ПВЧ налаштовується електронним способом керувальною напругою із синтезатора частот. У змішувачах здійснюється перетворення сигналу за частотою. Сигнал проміжної частоти з виходу змішувача надходить на підсилювач проміжної частоти ППЧ, де забезпечується основне посилення й вибірковість сигналу.

Після детектування сигналу проміжної частоти (амплітудного або частотного, залежно від режиму) сигнал подається в підсилювач низької частоти ПНЧ, де він підсилюється до значення, потрібного для роботи кінцевої апаратури. Мовний сигнал через пульт керування подається на телефони. Сигнал частотної телеграфії ЧТ виділяється в окремому тракті ПНЧ і подається до апаратури передавання даних.

Передавальний тракт радіостанції ПРД формує АМ, ЧМ або ЧТ радіосигнали на заданій частоті й підсилює їх до номінального значення вихідної потужності. Несуча частота зв'язку формується в збуднику шляхом ФАПЧ автогенератора збудника. Грубе (попереднє) настроювання автогенераторів збудника виконується електронним способом за допомогою напруги автопідстроювання, сформованої в синтезаторі, а точне – системою ФАПЧ збудника.

Напруга зі збудника підсилюється в підсилювачі потужності ПП і через антенний комутатор надходить до антени А. В ПП у режимі АМ відбувається колекторна модуляція високочастотного сигналу. При цьому може використовуватися мовний сигнал від ларингофонів або сигнал від апаратури передавання даних. Сигнали посилюються в модуляторі.

У режимі ЧМ мовний сигнал модулює ЧМ генератор збудника. Система ФАПЧ збудника здійснює перенесення частоти, що змінюється в ЧМ генераторі, на частоту зв'язку. У режимі ЧТ імпульсна послідовність від апаратури передавання даних надходить на ЧМ генератор збудника через блок комутації й здійснює частотну маніпуляцію. Частотна маніпуляція переноситься на частоту зв'язку системою ФАПЧ збудника. Настроювання частоти зв'язку й режиму роботи радіостанції забезпечується системою дистанційного керування СДК. До неї входять пульт керування й система передавання керуючих сигналів на синтезатор частот. Керування радіостанцією здійснюється з пульта керування ПК. До комплекту радіостанції входить один або кілька пультів керування. ПК забезпечує перехід на необхідний канал зв'язку (за допомогою складального або запам'ятовувального пристрою), регулювання гучності, перемикання роду роботи (АМ–ЧМ), підключення аварійного приймача й автоматичного радіокомпаса (АРК), вмикання придушувача шумів.

Радіостанції діапазону ВЧ (ДКМХ) мають ті ж основні елементи, що й радіостанції діапазонів ДВЧ, тобто в них є синтезатор частот, приймальний і передавальний тракти, система дистанційного керування, пульти керування. Принциповою відмінністю сучасних радіостанцій ДКМХ є використання в них режиму односмугової модуляції й наявність пристрою узгодження виходу передавача й входу приймача з антеною. Спрощену структурну схему радіостанції ВЧ показано на рис. 5.

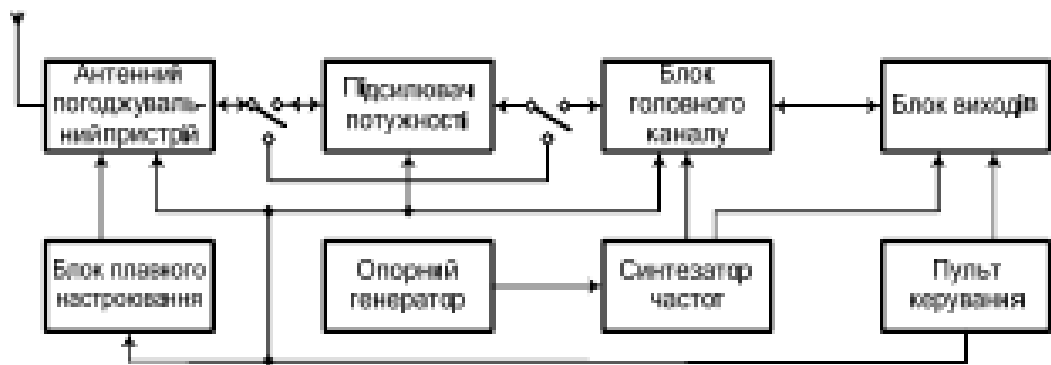


Рисунок 5- Структурна електрична схема радіостанції ВЧ.

Опорний генератор видає стабільні коливання з частотою 10 МГц, які надходять до синтезатора для формування ґратки частот. Висока стабільність частоти опорного генератора ($\pm 10^{-6}$) досягається ефективною термостабілізацією кварцового резонатора.

Синтезатор частот забезпечує формування ґратки робочих частот зв'язку в діапазоні 2 ... 29,999 МГц через 1 кГц зі стабільністю не гірше $\pm 10^{-6}$. Блок виходів забезпечує основне посилення сигналів під час приймання й передавання, формування різних режимів і видів роботи.

Підсилювач потужності й антенний погоджувальний пристрій призначені для посилення потужності сигналів, що передаються, й

автоматичного узгодження опору антени з вихідним опором контурів підсилювача потужності в режимі передавання з вхідним опором приймача в режимі приймання. Антенний погоджувальний пристрій керується блоком плавного настроювання і погоджує індуктивності зв'язку й настроювання антенного контуру.