

ЛЕКЦІЯ 1. Основні принципи побудови радіорелейних ліній

Вступ

Загальні принципи організації радіозв'язку

Класифікація розподілу радіочастот

Загальні принципи побудови РРЛ

Класифікація РРЛ

План розподілу частот на одностовбурних РРЛ прямої видимості

Діапазони частот, що відведені для РРЛ

Вступ

Історія розвитку радіотехніки починається з 7 травня 1895 р., коли російським фізиком й електротехніком О.С. Поповим уперше продемонстрована передача сигналів по радіо. В 30-х роках й особливо в 40-і роки почалося інтенсивне освоєння метрового, дециметрового й сантиметрового діапазонів хвиль. Саме завдяки використанню цих діапазонів удалося здійснити високоякісну передачу телевізійних зображень, впровадити в практику частотну модуляцію, широко використати для передачі повідомлень радіорелейні й супутникові лінії зв'язку.

Розвиток багатоканального радіорелейного зв'язку відноситься до початку 40-х років, коли з'являються перші 12-канальні радіолінії, що використовують той же, що й для кабельних ліній, спосіб частотного поділу каналів і ту ж каналоутворюючу апаратуру. На початку 50-х років у Радянському Союзі з'явилося відразу кілька типів апаратів РРЛ («Стрела», Р-60/120, Р-600). Надалі на мережі зв'язку країни з'явилися радіорелейні системи прямої видимості РРСП «Рассвет», «Восход», КУРС (комплекс уніфікованих радіорелейних систем), «Электроника-связь» й ін. Використовуючи ефект далекого тропосферного поширення (ДТП), удалося створити новий тип тропосферних радіорелейних систем передачі ТРСП із відстанями між сусідніми станціями 150... 300 км, а в окремих випадках й 600... 800 км. У 1965 р. у світі експлуатувалося вже більше 100 тисяч км тропосферних ліній, було створено кілька типів ТРСП «Горизонт-М», ТР-120/ДТР-12 й ін.

12 серпня 1960 р. був виведений на орбіту висотою 1500 км перший супутник зв'язку - американський космічний апарат «Echo-1». У 1962 р. В на низькі орбіти були виведені американські космічні апарати Telstar I та Relay-1 – перші супутники з активними ретрансляторами. В 1965 р. вступила в лад перша радянська супутникова система, що використовує ШСЗ «Молния-1» і призначена для передачі сигналів багатоканальної телефонії й телебачення. У наступні роки були створені ССП, що використовують ШСЗ «Молния-2», «Молния-3», «Экран», «Радуга», «Горизонт» й ін.

У цей час радіозв'язок дозволяє реалізувати повний спектр інформаційних послуг: передачу телефонних повідомлень, обмін даними підключення до глобальних інформаційних мереж, одержання й передачу відеозображень, телебачення й т.д. Застосування засобів радіозв'язку реалізує єдиний інформаційний простір, що дозволяє в будь-якій точці планети й у будь-який час одержувати необхідні послуги зв'язку. Класифікація систем радіозв'язку включає величезну, що постійно збільшується, кількість видів, що відрізняються призначенням і характеристиками, що забезпечують задоволення всіх, навіть самих специфічних, потреб людства. У цей час системи радіозв'язку класифікуються по області застосування в такий спосіб:

- системи супутникового зв'язку;
- системи стільникового зв'язку;
- системи транкінгового зв'язку;
- системи пейджингового зв'язку;
- системи радіодоступу;
- радіорелейні системи;
- бездротові телефонні апарати;

- системи автоматизованого збору інформації й керування по радіоканалах.

Загальні принципи організації радіозв'язку

Найпростіша схема організації радіозв'язку показана на рис. 1.1 - джерело інформації (цифрові дані, зображення, звук і т.д.); 2 - перетворювач повідомлення служить для перетворення вступної інформації в електричний сигнал;

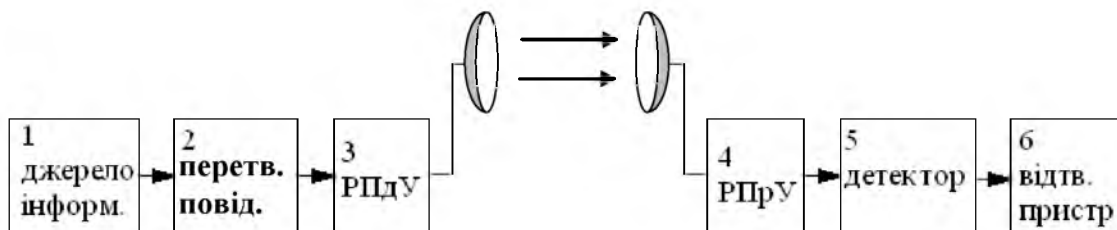


Рис.1.1

Необхідність цього процесу пов'язана з тим, що інформація, перетворена в електричний сигнал, має відносно низьку частоту, що, як відомо, погано випромінюється. Модульовані ВЧ коливання, названі радіосигналом, подаються в передавальну антену й збуджують у навколишньому просторі електромагнітні хвилі. Невелика частина енергії електромагнітних хвиль від передавача досягає прийомної антени й створює в ній слабкий модульований струм високої частоти. У приймачі 4 ВЧ модульовані коливання підсилюються й потім перетворюються в 5 назад у сигнал такого ж виду, як отриманий у пункті передачі від перетворювача. Таке перетворення називається детектуванням. Далі сигнал надходить у відтворюючий пристрій 6 – літеродрукувальний апарат, телефон, телевізійну прийомну трубку й т.п., після чого прийнята інформація надходить до одержувача.

Радіосистеми підрозділяють на радіолінії та радіомережі. Сукупність передавача, передавальної антени, середовища поширення хвиль, прийомної антени й приймача утворює радіолінію. За способом організації радіолінії розділяють односторонній та двосторонній радіозв'язок. Радіолінія, як видно з рис. 1, допускає односторонню передачу інформації з пункту розміщення передавальної станції в пункт, де знаходиться приймач. Зворотна передача в цьому випадку не передбачається.

Одностороння передача використовується частіше не в радіозв'язку, а у звуковому й ТМ радіомовленні, у службах передачі інформації для агентств печатки, метеорологічної інформації, сигналів точного часу, точної частоти й ін. Щоб поліпшити ефективність використання встаткування й збільшити пропускну здатність радіолінії, застосовують апаратури ущільнення (рис. 1.2). Передавальна частина апаратів утворює із сигналів різних джерел інформації $1a-1n$, перетворених перетворювачами $2a-2n$, єдиний груповий сигнал. Приймача частина цих апаратів розділяє сигнали, робить їхнє перетворення ($7a-7n$), після чого вони надходять до споживачів $8a-8n$. Сукупність технічних засобів, що забезпечують передачу повідомлення від одного джерела інформації до одержувача, називається каналом радіозв'язку. Система радіозв'язку з ущільненням радіолінії називається багатоканальним радіозв'язком.

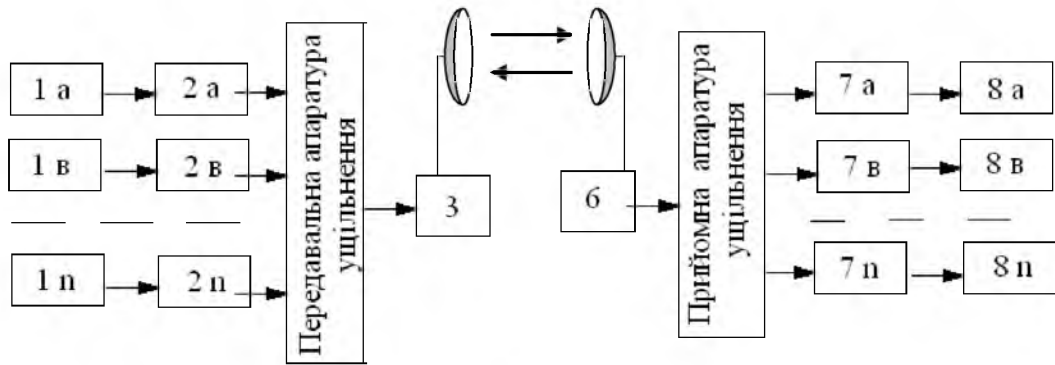


Рис.1.2

Для обміну інформацією між двома пунктами організується двосторонній радіозв'язок, що забезпечується за допомогою двох комплектів устаткування зв'язку, що діють назустріч один одному. У кожному кінцевому пункті двосторонньої лінії радіозв'язку розміщуються й прийомне й передавальне встаткування. Джерело й одержувач інформації звичайно сполучені, а також передавач і приймач у деяких випадках поєднуються в єдиній приймально-передавальній радіостанції. Тоді в кожному пункті звичайно замість двох антен є одна загальна приймально-передавальна антена. Двосторонній радіозв'язок може організовуватися по двох варіантах:

1. Обидва передавачі працюють на одній і тій же частоті, тобто й приймачі настроєні на ту саму частоту. У цьому випадку радіолінія в обоє напрямків одночасно працювати не може. Робота виробляється по черзі в одному з напрямків. Такий зв'язок називається симплексним.

2. Передавачі працюють на різних частотах, відповідно й приймачі настроєні на різні частоти. У цьому випадку радіолінія в обох напрямках може працювати одночасно. Такий зв'язок називається дуплексним. Лінія радіозв'язку може складатися з декількох або багатьох відрізків, у межах яких передача радіосигналів забезпечується комплектами приймально-передавального встаткування. Сигнали з одного пункту приймаються в іншому, підсилюються й передаються далі в третій пункт, там знову підсилюються й передаються в четвертий пункт і т.д. Така побудова радіолінії називається радіорелейною лінією зв'язку (рис. 1.3).

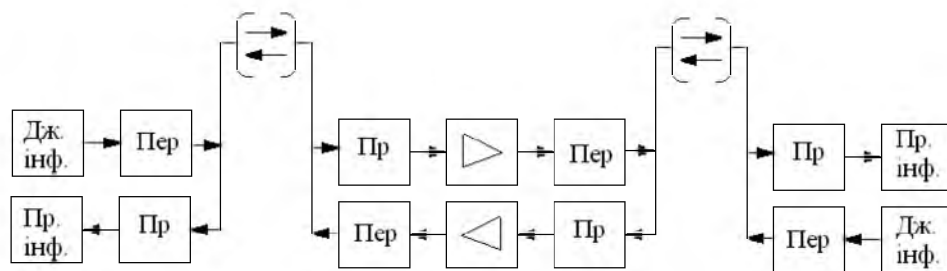


Рис.1.3

Подібним же чином діють супутники зв'язку: сигнал з однієї наземної станції приймається на супутник Землі, підсилюється й через передавач супутника передається на іншу наземну станцію, що перебуває на великій відстані від першої. Лінії РРЛ, також як і лінії супутникового зв'язку, завжди мають на кінцевих пунктах апаратури уцільнення й дозволяють передавати більші потоки інформації.

Класифікація розподілу радіочастот

Відповідно до міжнародного регламенту радіозв'язку радіочастоти діляться на 9 діапазонів, позначувані номерами від 4 до 12. Діапазон з номером N обмежений знизу частотою $0,3 \cdot 10^N$ Гц і зверху частотою $3 \cdot 10^N$ Гц. Діапазонам привласнені наступні назви:

- № 4 – $f_4 = 0,3 \cdot 10^4 \div 3 \cdot 10^4 = 3 \div 30$ кГц – наддовгі хвилі;
- № 5 – $f_5 = 0,3 \cdot 10^5 = 30 \div 300$ кГц – довгі хвилі;
- № 6 – $f_6 = 0,3 \cdot 10^6 = 300 \div 3000$ кГц – середні хвилі;
- № 7 – $f_7 = 0,3 \cdot 10^7 = 3 \div 30$ МГц – короткі хвилі;
- № 8 – $f_8 = 0,3 \cdot 10^8 = 30 \div 3000$ МГц – метрові хвилі;
- № 9 – $f_9 = 0,3 \cdot 10^9 = 300 \div 3000$ МГц – дециметрові хвилі;
- № 10 – $f_{10} = 0,3 \cdot 10^{10} = 3 \div 30$ ГГц – сантиметрові хвилі;
- № 11 – $f_{11} = 0,3 \cdot 10^{11} = 30 \div 300$ ГГц – міліметрові хвилі;
- № 12 – $f_{12} = 0,3 \cdot 10^{12} = 300 \div 3000$ ГГц –дециміліметрові хвилі.

Звідси видно, що зі збільшенням номера діапазону, ширина діапазону частот збільшується. Наприклад: № 4 $f_4=27$ кГц, а №12 $f_{12}=2700$ кГц. У межах діапазону, умови поширення радіохвиль приблизно однакові. Робочу частоту лінії радіозв'язку або так називану несучу частоту, що використовується для переносу повідомлень із місця передачі на місце прийому, вибирають із урахуванням наступних вимог:

1. *Відсутність працюючих на цій частоті радіостанцій, випромінювання яких могли б заважати радіоприйому в потрібних пунктах планованої лінії;*
2. *Відсутність на цій частоті систем радіозв'язку й мовлення, роботі яких може перешкодити включення нового передавача;*
3. *Обирана частота повинна лежати в діапазоні, що по існуючих планах розподілу радіочастот відведений для даного виду радіозв'язку;*
4. *Повинна бути можливість заняття досить широкої смуги частот, що відповідає ширині спектра переданих радіосигналів.*

Аналізуючи наведені вимоги можна показати, що побудова багатоканальної радіолінії доцільно не на всіх 9 діапазонах. Наприклад: у діапазоні № 4 із застосуванням АМ можна організувати тільки 3-х каналну ТЛФ радіолінію ($F_{\text{тлф}}=0,3 \div 3,4$ кГц, $f_n = 8$ кГц, $f_4 = 27$ кГц). У цьому діапазоні не можна організувати високоякісну передачу навіть одного каналу мовлення ($F_{\text{мов}}=15$ кГц) і TV ($F_{\text{TV}}=6$ МГц). Тому для цих цілей використовують діапазон хвиль із більше високим номером. Для TV віщання № 8, для радіомовлення № 5 і вище й т.д., а для організації багатоканальної радіолінії звичайно використовують діапазон УКХ (8 діапазон і вище). Оскільки РРЛ є, як правило, багатоканальною радіолінією, та й несучу частоту вибирають у діапазоні УКХ.

Загальні принципи побудови РРЛ

РРЛ зв'язок – це особливий вид радіозв'язку на УКВ хвилях з багаторазовою ретрансляцією сигналу. До УКВ радіохвиль відносять хвилі довжиною коротше 10 м, що відповідає частотам вище 30 МГц. Смуга частот, що відповідають діапазону УКВ, дуже широка, і в цьому діапазоні можна розмістити набагато більше число радіостанцій, що працюють без взаємних перешкод, чим у діапазонах більше довгих хвиль.

У діапазоні УКХ смуга частот прийомо-передавального устаткування може бути зроблена дуже широкою. Як відомо, відношення ширини смуги пропущення одиночного коливального контуру до його резонансної частоти дорівнює $f/f_0 = 1/Q$, де Q - добротність контуру. Звичайно в контурах, застосовуваних у радіопристроях, це відношення не перевищує декількох відсотків (1 ÷ 3) %, отже, якщо на хвилі довжиною 1000 м. ширина смуги контуру може бути 3 ÷ 9 кГц, те на хвилі довжиною 10 см вона становить 30 ÷ 90 МГц. Таким чином, на УКХ можна здійснювати передачу сигналів, що займають дуже широку смугу частот, наприклад TV або велике число ТЛФ.

Таким чином, застосування УКХ для організації зв'язку забезпечує: - можливість передачі сигналів, що займають дуже широку смугу частот (TV, багатоканальних ТЛФ);

відсутність зовнішніх перешкод; - можливість здійснення стійкого зв'язку при малій потужності передавача, завдяки застосуванню спрямованих антен. Недоліком радіозв'язку на УКХ є обмежена дальність. УКХ радіохвилі, особливо дециметрові і сантиметрові, не відбиваються від іоносфери й дуже слабо обгинають перешкоди, тому дальність радіозв'язку на цих хвилях обмежена. При малій потужності передавачів стійкий зв'язок на дециметрових і сантиметрових хвилях можлива в межах прямої видимості. За межами прямої видимості напруженість поля дуже швидко падає зі збільшенням відстані між станціями, і зв'язок стає ненадійним. Внаслідок цієї особливості поширення хвиль, далекий зв'язок на УКХ можлива тільки за допомогою ретрансляційних або радіорелейних ліній.

Класифікація РРЛ

Залежно від первинної мережі розрізняють:

- магістральні РРЛ;
- внутрізонові РРЛ;
- місцеві РРЛ.

Залежно від способу формування ГС розрізняють аналогові й цифрові РРЛ.

Аналогові РРЛ залежно від способу об'єднання (розподілу) електричних сигналів і методу модуляції несучої розрізняють:

- РРЛ зі ЧРК;
- ЧМРРЛ із ФІМ-АМ;

Цифрові РРЛ класифікують по способі модуляції несучої:

- ІКМ-ЧМ;
- ІКМ-ФМ;

і інші

Залежно від швидкості передачі двійкових символів:

- з малою пропускнуою здатністю - $V < 10$ Мбіт/с;
- із середньою пропускнуою здатністю - $V = 10 \dots 100$ Мбіт/с;
- с високою пропускнуою здатністю - $V > 100$ Мбіт/с.

За межами застосування РРЛ можна класифікувати в такий спосіб:

1. **Магістральні лінії великої ємності.** Ці лінії мають значну довжину й призначені для організації 600 і більше ТЛФ каналів. Загальне число ТЛФ каналів на магістральних лініях може досягати декількох тисяч при так називаній багатостовбурній роботі. Для цього на кожній станції встановлюється кілька комплектів приймально-передавальних апаратів, так що утвориться кілька паралельних радіоканалів (стовбурів), що працюють на різних несучих частотах на спільних антенно-фідерних пристроях. Число стовбурів на магістральних РРЛ може досягати $6 \div 8$, причому частина стовбурів звичайно використовується для передачі TV програм, а один або два стовбури є резервними – на них автоматично переключується передача повідомлень при виході з ладу основних стовбурів (приділяється сантиметровий і міліметровий діапазон хвиль).

2. **Лінії середньої ємності,** використовуються на відгалуженнях від магістральних ліній і на внутріобласних зв'язках і призначаються для організації від 60 до 300 ТЛФ каналів. Причому на одній лінії звичайно працює до 3 стовбурів (приділяється дециметровий діапазон хвиль).

3. **Малоканальні РРЛ** із ємністю не більше 30 ТЛФ-каналів використовуються для місцевого або, так названого, низового зв'язку. На цих лініях найчастіше використовується апаратури у вигляді контейнера, що заривається в землю в підстави щодо невисокої й простій по конструкції антеною щогли (приділяється звичайно метровий і дециметровий діапазон хвиль).

4. **РРЛ для зв'язку на залізничному транспорті, газопроводах, нафтопроводах, лініях електропередач і т.п.** Число ТЛФ звичайно до 30 каналів, необхідне виділення на кожній станції. Тому застосовується апаратури із ВР (дециметровий діапазон хвиль).

5. **РРЛ із рухомими станціями.** Використаються для потреб оборони, а також для оперативної заміни ушкоджених ділянок РРЛ і кабельної магістралі (залежно від призначення вибирається діапазон хвиль).

6. **Тропосферні РРЛ** із відстанями між станціями до 300-400 км й ємністю до 120 ТЛФ каналів (кінець метрового й початок дециметрового діапазону хвиль).

7. **РРЛ із використанням ШСЗ** із відстанню між наземними станціями до декількох тисяч кілометрів, призначені для передачі сигналів ТВ і багатоканальної ТЛФ (кінець дециметрового й початок сантиметрового діапазону хвиль).

План розподілу частот на одностовбурних РРЛ прямої видимості

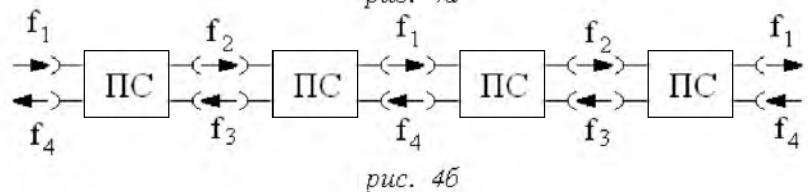
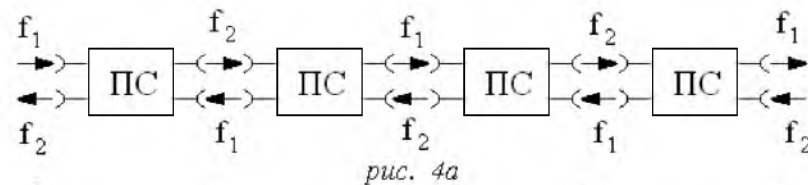
Під частотним планом системи РРЛ зв'язку розуміють розподіл частот прийому й передачі між стовбурами системи, а також розподіл частот гетеродинів, тобто розподіл частот передачі й прийому на одному стовбурі. Тому що особливістю побудови апаратури РРЛ зв'язку є те, що на ПС прийомні й передавальні антени одного напрямку зв'язку практично розташовані поруч, те виникаючі в цьому випадку взаємозв'язку між антенами не дозволяють використати ті самі робітники частоти при прийомі й передачі сигналів у даному напрямку. Тому на ПС виникає необхідність у зміні робочих частот прийому й передачі як при організації односторонньої, так і двостороннього зв'язку.

ПС виконує дві функції:

1. Посилення сигналу;
2. Перетворення частоти НВЧ сигналу з метою усунення можливого зв'язку між передавачем і приймачем даної станції.

Існують два плани розподілу частот у РРЛ прямої видимості, для стовбура:
двохчастотний план;
чотирьохчастотний план;

При двухчастотном плані на радіолінії використовуються дві частоти. Схема розподілу наведена на рис. 1.4а.



При чотирьохчастотном плані на радіолінії використовуються 4 частоти. Схема розподілу наведена на рис. 1.4б.

При двухчастотній системі використовуються РПА, параболічні або інші антени, що мають захист від прийому сигналів зі зворотного напрямку порядку $60 \div 70$ дБ. Така система застосовується звичайно на РРЛ великій і середній ємності.

Чотирьохчастотна система допускає використання більше простих дешевих конструкцій антенних систем, наприклад перископічних. Чотирьохчастотна система з більше простими антенними системами застосовується на РРЛ середній і малій пропускній здатності, призначених для внутрізонових і низових зв'язків.

Частоти прийому й передачі в одному стовбурі РРЛ чергуються від станції до станції. Станції, на яких прийом здійснюється на більше низькій частоті (f_1), а передача на більше високій (f_2), позначаються індексом “НВ”, а станції, на яких прийом виробляється на більше високій частоті (f_2), передача на більше низькій (f_1) позначається індексом “ВН”.

Для того щоб звести до мінімуму інтерференційні перешкоди в багатостовбурних РРЛ, що виникають при одночасній роботі декількох приймачів і передавачів на загальний антенно-фідерний тракт, існують певні плани розподілу частот.

У всіх сучасних РРЛ системах застосовуються плани з рознесеними частотами прийому й передачі, тобто частоти прийому розміщені в одній половині діапазону, а частоти передач - в іншій половині діапазону. Такий план розподілу частот наведений на рис.1.5.

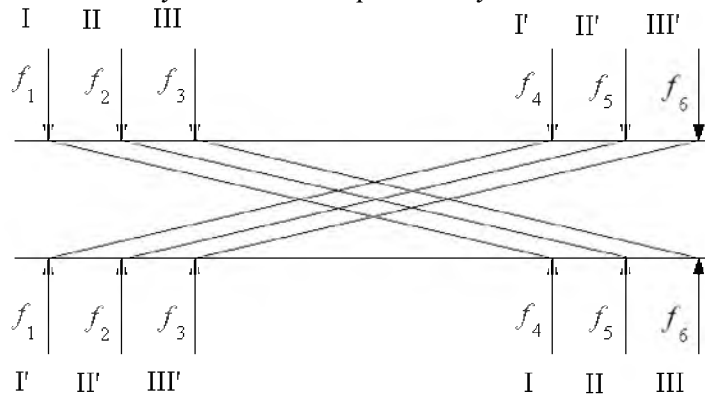


Рис.1.5

При цьому плані кожна антена може бути використана одночасно як для передачі, так і прийому сигналів.

На рис.1.6 наведений план розподілу частот, рекомендований МККР для системи працюючих у діапазоні 4 ГГц, шести стовбурів по 600 ТЛФ каналів.

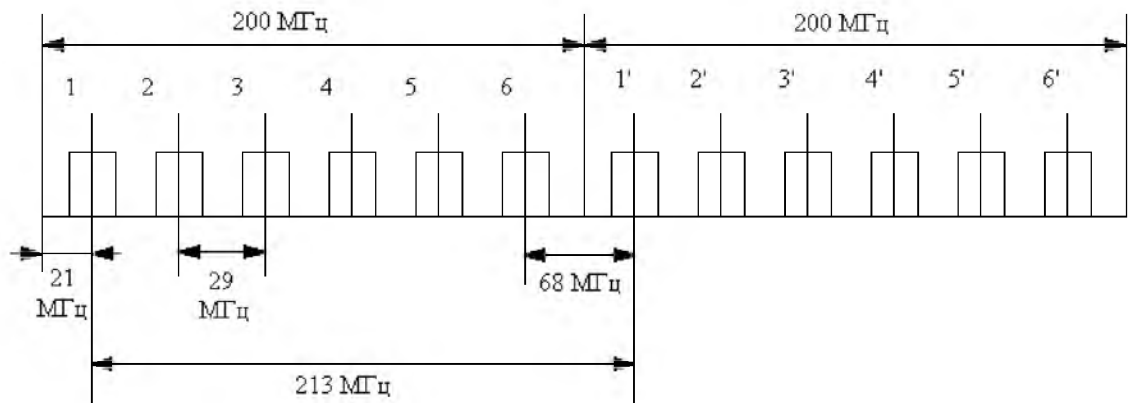


Рис.1.6

Діапазони частот, відведені для РРЛ

Відповідно до класифікації РРЛ по призначенню, способам поділу каналів й області застосування, приділяється їй діапазон частот для роботи даної РРЛ.

1. **Наземні РРЛ або РРЛ прямиї видимості**, залежно від ємності працюють у діапазоні від метрових хвиль до сантиметрових. Малоканалні РРЛ працюють у нижній частині діапазону, а багатоканальні або широкопосмугові - у верхній. Застосування більше високих частот (11 ГГц і вище) приводить до додаткового ослаблення сигналу, тому що довжина хвилі стає порівняно з розмірами атмосферних опадів.

2. **Тропосферні РРЛ** – це такі РРЛ, у яких за рахунок відбиття від тропосфери здійснюється далеке поширення УКВ хвиль. Працюють вони в діапазоні 1000 МГц (дециметрові хвилі).

3. **Тропосферні РРЛ**, що працюють у діапазоні 3,8; 8,4 ГГц й 11; 14 ГГц – сантиметрові хвилі.