

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

Циклова комісія авіаційного і радіоелектронного обладнання

ТЕКСТ ЛЕКЦІЇ

навчальної дисципліни «Зв'язок»
обов'язкових компонент
освітньо-професійної програми першого (бакалаврського) рівня вищої освіти

***272 Авіаційний транспорт
(Оператор безпілотних літальних апаратів)***

**за темою № 2 - Характеристика радіохвиль, особливості розповсюдження
радіохвиль різних діапазонів**

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. Радіохвилі, характеристика радіохвиль.
2. Розподіл частотного діапазону радіохвиль.
3. Особливості розповсюдження радіохвиль різних піддіапазонів та їх застосування.
4. Види модуляції радіосигналів, телефонний та телеграфний зв'язок, сигнали передачі даних.

Рекомендована література (основна, допоміжна), інформаційні ресурси в Інтернеті

Основна література:

1. Повітряний кодекс України
2. Наказ Державної авіаційної служби України, Міністерства оборони України 06.02.2017 № 66/73 АВІАЦІЙНІ ПРАВИЛА УКРАЇНИ «Загальні правила польотів у повітряному просторі України»
3. Наказ Державної авіаційної служби України 09 грудня 2021 року № 1920 АВІАЦІЙНІ ПРАВИЛА УКРАЇНИ «Організація повітряного руху»
4. Климаш М.М. Теоретичні основи телекомунікаційних мереж : навч. посіб. / М.М. Климаш, Б.М. Стрихалюк, М.В. Кайдан. – Львів : вид-во УАД, 2011. – 496 с.
5. Логачова Л.М. Поширення земних радіохвиль та мобільний зв'язок / Л. М. Логачова, Т. І. Бугрова / Навчальний посібник. – Запоріжжя: ЗНТУ, 2019. – 236 с.
6. Пилінський В.В. Технічна електродинаміка та поширення радіохвиль/ навчальний посібник/ В.В. Пилінський – Національний технічний університет України «КПІ», 2014. – 336с.

Допоміжна література:

1. Харченко В.П. Авіоніка. Навчальний посібник. К.: НАУ. 2013. – 272 с.;
2. Eurocontrol airspace strategy for the ECAC states. ASM.ET 1. ST 03.4000 – EAS – 01-00. - Luxembourg, Eurocontrol, 2001. – 74 p.;
3. Eurocontrol manual for airspace planning, common guidelines – Vol. 2. Luxembourg, Eurocontrol, - 2003. – 95 p.;
4. Guidelines document for the implementation of the concept of the flexible use of airspace. ASM.ET 1. ST 08.5000 – GUI – 02-00. - Luxembourg, Eurocontrol, 2003. – 43 p.;

Інформаційні ресурси в Інтернеті:

1. Юринець Ю. Л. Правовий статус безпілотних літальних апаратів [Електронний ресурс] / Ю. Л. Юринець, І. І. Романович // «АЕРО – 2017. Повітряне і космічне право» : матеріали Всеукраїнської конференції молодих і студентів. – Електрон. текст. дані. – Режим доступу : <http://er.nau.edu.ua/handle/NAU/31654.html>
2. Сєдов А. Поради дронаводам-початківцям [Електронний ресурс] / Аркадій Сєдов // 50o NORTH. – Опубліковано 31.07.2017. – Електрон. текст.

дані. – Режим доступу : <http://www.50northspatial.org/ua/tips-getting-started-with-drones/>

3. Седов А. Огляд сфер використання БПЛА в повсякденному житті [Електронний ресурс] / Аркадій Седов // 50o NORTH. – Опубліковано 13.05.2016. – Електрон. текст. дані. – Режим доступу : <http://www.50northspatial.org/ua/uavs-everyday-life/>

Текст лекції.

1. Радіохвилі, характеристика радіохвиль.

Радіохвилі — діапазон електромагнітних хвиль з довжиною хвилі від 10-5 до 1010 метра.

В експериментах Герца (1880-ті) вперше були одержані хвилі з довжиною кілька десятків сантиметрів. В 1895-99 О. Попов вперше використав радіохвилі для бездротового зв'язку. З розвитком радіотехніки розширювався і частотний діапазон хвиль, що можуть бути згенеровані чи сприйняті радіоапаратурою. В природі існують і природні джерела радіохвиль у всіх частотних діапазонах. Наприклад таким джерелом може бути будь-яке нагріте тіло. Також радіохвилі можуть генеруватися деякими природними явищами (блискавка) або космічними об'єктами (нейтронні зірки).

Використовуються радіохвилі не лише для власне радіо але й для локації, дослідження космічних об'єктів, дослідження середовища, в якому вони поширюються, і в радіометеорології.

Радіохвилі довжиною 100-10 км (частота 3-30 кГц) та довжиною 10-1 км (частота 30-300 кГц) називаються наддовгими (НДХ) та довгими (ДХ) хвилями, розповсюджуються у вільному просторі вздовж поверхні Землі і вдень і вночі і мало поглинаються водою. Тому їх використовують, наприклад, для зв'язку з підводними човнами (наддовгі хвилі). Однак, вони сильно слабшають по мірі віддалення від передавача, і тому передавачі повинні бути дуже потужними.

Хвилі довжиною 1000—100 м (частота 0,3-3 МГц), так звані середні хвилі (СХ), вдень сильно поглинаються іоносферою (верхнім шаром атмосфери, що має велику концентрацію іонів) та швидко слабшають, коли вночі іоносфера їх відбиває. Середні хвилі використовують для радіомовлення, причому вдень можна чути лише близько розташовані станції, а вночі — ще й дуже віддалені.

Хвилі довжиною 100-10 м (частота 3-30 МГц), так звані короткі (КХ), надходять до антени приймача, відбиваючись від іоносфери, причому вдень краще відбиваються коротші, а вночі — довші з них. Для таких радіохвиль можна створювати антени передавачів, котрі випромінюють електромагнітну енергію направлено, фокусують її у вузький промінь, і таким чином збільшувати потужність сигналу, що надходить до антени приймача. На коротких хвилях працює більшість станцій радіозв'язку — суднових, літакових та ін., а також багато станцій радіомовлення.

Радіохвилі довжиною 10 м-0,3 мм (частота 30 МГц-1 ТГц), що називаються ультракороткими (УКХ), не відбиваються і не поглинаються іоносферою, а на кшталт світлових променів, пронизують її і відходять у космос. Тому зв'язок на УКХ можливий лише на таких відстанях, коли антена приймача «бачить» антену передавача, тобто коли немає нічого між антенами, що могло б заступати шлях цим хвилям (гора, будинок, опуклість Землі та ін.). Тому, УКХ використовують в основному для радіорелейного зв'язку, телебачення, супутникового зв'язку, а також в радіолокаторах.

2. Розподіл частотного діапазону радіохвиль.

Відповідно до Регламенту радіозв'язку радіоспектр підрозділяється на дев'ять діапазонів. Поділ радіохвиль на діапазони в першу чергу пов'язано з особливостями їх розповсюдження і використання Таблица 1.

Таблиця 1 Класифікація радіохвиль, використовуваних у радіосистемах зв'язку й мовлення

Номер смуги частотного спектру	Позначенн я смуги частот	Діапазо н частот*	Діапазо н хвиль**	Метричне найменування діапазону хвиль
1	Вельминиз ькі частоти (ВНЧ)	3 -30 Гц	10-100 Мм	Декамегаметро вий (ДКММХ)
2	Наднизькі частоти (ННЧ)	30 -300 Гц	1 -10 Мм	Мегаметровий (ММХ)
3	Інфранизък і частоти (ІНЧ)	0.3 -3 кГц	100 - 1000 км	Гектокілометро вий (ГКМХ)
4	Дуже низькі частоти (ДНЧ)	3 - 30 кГц	10 -100 км	Декакілометров ий (ДККМХ)
5	Низькі частоти (НЧ)	30 - 300 кГц	1 - 10 км	Кілометровий (КМХ)
6	Середні частоти (СЧ)	300 - 3000 кГц	100 - 1000 м	Гектометровий (ГМХ)
7	Високі частоти(ВЧ)	3 - 30 МГц	10 - 100 м	Декаметровий (ДКМХ)

8	Дуже високі частоти (ДВЧ)	30 - 300 МГц	1 - 10 м	Метровий (МХ)
9	Ультрависокі частоти (УВЧ)	300 - 3000 МГц	10 - 100 см	Дециметровий (ДЦХ)
10	Надвисокі частоти (НВЧ)	3 - 30 ГГц	1 - 10 см	Сантиметровий (СМХ)
11	Вельмивисокі частоти (ВВЧ)	30 - 300 ГГц	1 - 10 мм	Міліметровий (МмХ)
12	Гіпервисокі частоти (ГВЧ)	300 - 3000 ГГц	0.1 - 1 мм	Дециміліметровий (ДМмХ)

Радіохвилі різних діапазонів мають свої особливості поширення. Разом з тим є ***ряд закономірностей***, які характерні для радіохвиль різної довжини:

а)- чим більше довжина хвилі в порівнянні з розміром перешкоди, тим у меншому ступені перешкода заважає її поширенню; звідси випливає, що кілометрові й декакілометрові хвилі безперешкодно обгинають всі наявні на Землі нерівності, гектометрові й, тим більше, декаметрові хвилі поширюються над земною поверхнею по-різному залежно від рельєфу, ультракороткі хвилі поширюються в межах прямої видимості, тобто подібно оптичному випромінюванню;

б)- чим довше хвиля, тим глибше вона проникає у воду й землю;

в) - чим коротше хвиля, тим "жорсткіше" стає випромінювання, тобто тим гірше радіохвилі обгинають перешкоди й вільніше проходять крізь іонізоване середовище (наприклад, радіохвилі з $\lambda > 100\text{м}$ не виходять за межі земної іоносфери, а для радіохвиль із $\lambda < 1\text{м}$ іоносфера "прозора").

Освоєння електромагнітних хвиль для передачі інформації почалося із самих довгих, тому що створювати їх і управляти ними технічно найбільше просто. З розвитком електронної техніки радіосистеми поступово освоїли область більше високих частот, оскільки саме на високих частотах удалося реалізувати передачу телевізійних зображень і багатоканальних повідомлень, спрямоване випромінювання радіохвиль і інші корисні технічні рішення.

У цей час у діапазонах кіло-, гекто- і декаметрових хвиль передаються в основному програми мовлення, частково - сигнали точного часу й здійснюється обмежений вид спеціальних магістральних зв'язків.

Найбільш насичені по кількості, видам переданої інформації й по використуваних технічних засобах метровий і дециметровий діапазони. У цих діапазонах ведеться телевізійне мовлення, весь низовий (на відстань менш

100 км) радіозв'язок, високоякісне радіомовлення, у тому числі й стереофонічне.

У сантиметровому й міліметровому діапазонах хвиль здійснюється передача багатоканальних повідомлень як наземними засобами зв'язку - радіорелейними станціями, так і з використанням штучних супутників Землі. Крім того, завдяки тому, що в цих діапазонах досить легко створювати антени з вузьконаправленим випромінюванням, у них працює більшість навігаційних і радіолокаційних систем, які дозволяють із досить високою точністю (до 5 см) визначати просторове положення різних об'єктів, що випромінюють і не випромінюють електромагнітні хвилі. Застосування міліметрових хвиль обмежується тим, що зі зменшенням довжини вони інтенсивно поглинаються опадами, водяними парами й газами, що становлять повітря.

1. Особливості розповсюдження радіохвиль різних піддіапазонів та їх застосування.

Поширення радіохвиль в земному просторі залежить від властивостей поверхні землі і властивостей атмосфери. Умови розповсюдження радіохвиль уздовж поверхні землі значною мірою залежать від рельєфу місцевості, електричних параметрів земної поверхні і довжини хвилі. Подібно іншим хвилям радіохвилям властива *дифракція*, тобто явище огинання перешкод. Найбільш сильно дифракція позначається у разі, коли геометричні розміри перешкод сумірні з довжиною хвилі. Радіохвилі, що розповсюджуються у поверхні землі і частково за рахунок дифракції огинають опуклість земної кулі, називаються земними, або *поверхневими радіохвилями*.

Атмосферу землі не можна вважати однорідним середовищем. Тиск, щільність, вологість, діелектрична проникність і інші параметри в різних обсягах повітряного шару мають різні значення. З цих причин швидкості поширення в різних обсягах неоднакові і залежать від довжини хвилі. Траєкторія радіохвиль в атмосфері викривляється. Явище викривлення або заломлення хвиль при поширенні їх у неоднорідному середовищі отримало назву *рефракції*. Радіохвилі, що розповсюджуються на великій висоті в атмосфері і повертаються на землю внаслідок викривлення траєкторії, розсіювання або відбиття від атмосферних неоднорідностей, називаються *просторовими, або іоносферними*. У точку прийому можуть приходити як просторова, так і земна хвилі від одного і того ж джерела. Якщо фази коливань цих хвиль збігаються, то амплітуда сумарного поля зростає, і навпаки - при зсуві фази хвиль на 180° сумарне поле послаблюється і може стати рівним нулю. Зазначене явище називається *інтерференцією*.

Вплив землі та атмосфери на розповсюдження радіохвиль

Як відомо, повітря не викликає ослаблення радіохвиль практично у всіх діапазонах частота, здавалося б, тому земна хвиля повинна поширюватися без поглинання. Однак це вірно лише в тому випадку, якщо земна хвиля проходить

високо над поверхнею землі. Якщо ж радіохвилі проходять поблизу від поверхні землі, то частина енергії хвилі відхиляється в землю. Відбувається це тому, що швидкість поширення радіохвиль в землі менше, ніж у повітрі, і при русі їх уздовж її поверхні нижній край хвилі відстає від верхнього, фронт хвилі нахилиється і крім руху уздовж поверхні землі відбувається її поширення зверху вниз.

Якби земна поверхня була ідеально провідної, радіохвилі відбивалися б від неї без втрат, тобто земля в цьому випадку була б екраном, що перешкоджає проходженню хвиль углиб ґрунту. У реальних умовах земля не є ні ідеальним провідником, ні ідеальним ізолятором. Радіохвилі, які потрапили в землю, збуджують у ній змінні електричні струми, які частину своєї енергії витрачають на нагрівання ґрунту. Величина втрат енергії в землі дуже сильно залежить від частоти радіохвиль і опору ґрунту електричному струму. У ґрунті із збільшенням частоти радіохвиль величина індукційна ЕРС зростає і відповідно збільшуються струми в землі, які створюють електромагнітне поле зворотного напрямку. Тому дальність розповсюдження поверхневих радіохвиль дуже швидко зменшується зі збільшенням частоти.

При зменшенні провідності ґрунту радіохвилі глибше проникають в середу і, отже, зростає їх поглинання. Ще винахідник радіо А.С. Попов зауважив, що над поверхнею моря дальність радіозв'язку збільшується в порівнянні з дальністю зв'язку над сушею. Крім того, із зростанням частоти погіршуються умови обгинання (дифракції) радіохвилями перешкод.

Перераховані вище фактори обмежують можливості використання поверхневої хвилі діапазонами порівняно довгих хвиль (міріаметрові, кілометрові, гектометрові і частково декаметрові).

Атмосферою називається газоподібна оболонка Землі, що простягається на висоту більше 1000 км. Атмосферу підрозділяють на три основні сфери (шару): тропосферу - приземний шар атмосфери, верхній шар якої лежить на висоті 10-14 км; стратосферу - шар атмосфери до висот 60-80 км; іоносферу - іонізований повітряний шар малої щільності над стратосферою, що переходить потім в радіаційні пояси Землі. На висотах в сотні кілометрів різні гази, складові повітря, розташовуються шарами, більш важкі - нижче, більш легкі - вище. Таким чином, атмосфера на цих висотах неоднорідна за складом.

Під впливом променів Сонця, космічних променів та інших факторів повітря іонізується, тобто частина атомів газів, що входять до складу повітря, розпадається на вільні електрони і позитивні іони. Іонізоване повітря робить сильний вплив на поширення радіохвиль.

Для різних газів максимум іонізації виходить на різній висоті. Іонізований шар атмосфери - *іоносфера* - складається з декількох шарів (рис.23). На висоті 60-80 км знаходиться шар А існуючий тільки вдень. Наступний шар Е розташовується на висоті 90-130 км. Ще вище знаходиться шар F, що має вночі висоту 250-350 км, а вдень розділяється на два шари: F1 - на висоті 180-220 км і F2 - на висоті 220-500 км.

Висота, товщина і провідність іонізованих шарів різні в різний час доби і року внаслідок зміни іонізуючого дії сонячних променів. Чим більше іонізуюче дію сонячних променів, тим більше провідність і товщина іонізованих шарів і тим нижче вони розташовуються. Днем провідність і товщина їх більше, а висота над землею менше, ніж вночі. Влітку провідність і товщина іоносферних шарів більше, а висота менше, ніж взимку. Через кожні 11 років на Сонці повторюється максимум сонячних плям, які є потужними джерелами іонізуючих випромінювань. У цей час провідність і товщина іонізованих шарів досягають максимуму, і вони розташовуються нижче. Таким чином, властивості земної атмосфери, що впливають на поширення радіохвиль, змінюються за досить складним законам. Відбуваються також зміни випадкового характеру, які передбачити взагалі неможливо.

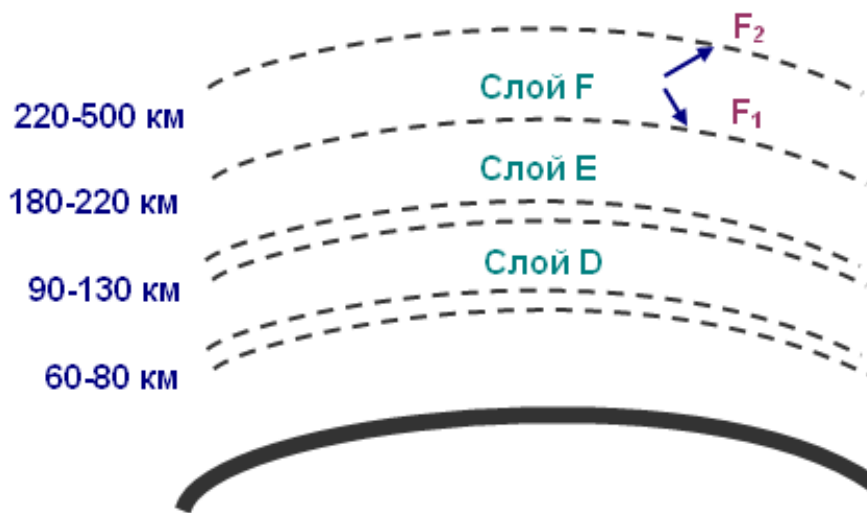


Рис.2 Іонізовані шари іоносфери

Іоносфера робить істотний вплив на поширення радіохвиль. Воно полягає, насамперед, у тому, що радіохвилі, потрапляючи в іоносферу, змінюють свій напрямок. Відбувається це внаслідок неоднорідного характеру іоносфери. Якби відносні діелектричні проникності повітря та іоносфери були однакові, то хвиля не міняла б свого напрямку. Так як в іоносфері є вільні електрони, її відносна діелектрична проникність менше діелектричної проникності неіонізованого повітря. Внаслідок цього при переході з повітря в іоносферу відбувається заломлення хвилі, а оскільки концентрація електронів у верхніх шарах іоносфери зростає, то хвиля, багаторазово заломлюючись, повертається на землю.

Крім зміни напрямку поширення радіохвиль в іоносфері відбувається поглинання їх енергії. Пояснюється це тим, що радіохвилі, потрапляючи в іоносферу, викликають коливання знаходяться там вільних електронів. Здійснюючи коливальний рух, електрони стикаються з важкими частинками - іонами і молекулами. При цьому вони втрачають енергію, придбану від радіохвилі, і передають її зазначеним часткам; іоносфера нагрівається. Таким чином, частина енергії радіохвилі в іоносфері втрачається. Чим вище частота радіохвиль, тим менше швидкість коливального руху електронів. Кінетична

енергія, що отримується ними від радіохвилі і що віддається потім важким частинкам, виявляється менше. Тому з підвищенням частоти втрати енергії радіохвилі в іоносфері зменшуються.

Підводячи підсумки вищесказаного, можна відзначити наступне:

- через неоднорідностей іоносфери радіохвилі переломлюються в ній і відбиваються на землю;
- із зростанням частоти відбивна здатність зменшується;
- із зростанням частоти зменшується поглинання хвиль в іоносфері;
- стан іоносфери і пов'язані з ним умови розповсюдження мають періодичні і неперіодичні зміни.

4. Види модуляції радіосигналів, телефонний та телеграфний зв'язок, сигнали передачі даних.

Аналогова модуляція застосовується для передачі дискретних даних по каналах з вузькою смугою частот, типовим представником яких є канал тональної частоти, наданий у розпорядження користувачам загальних телефонних мереж. Типова амплітудно-частотна характеристика каналу тональної частоти подана на рис. 3.8. Цей канал передає частоти в діапазоні від 300 до 3400 Гц, таким чином, його смуга пропускання дорівнює 3100 Гц. Хоча людський голос має набагато більш широкий спектр – приблизно від 100 Гц до 10 кГц, – для прийнятної якості передачі мови діапазон у 3100 Гц є гарним рішенням. Строге обмеження смуги пропускання тонального каналу пов'язано з використанням апаратури ущільнення і комутації каналів у телефонних мережах. Пристрій, що виконує функції модуляції несучої синусоїди на стороні, яка передає сигнали, і демодуляції на прийомній стороні, називається модемом (модулятор-демодулятор).

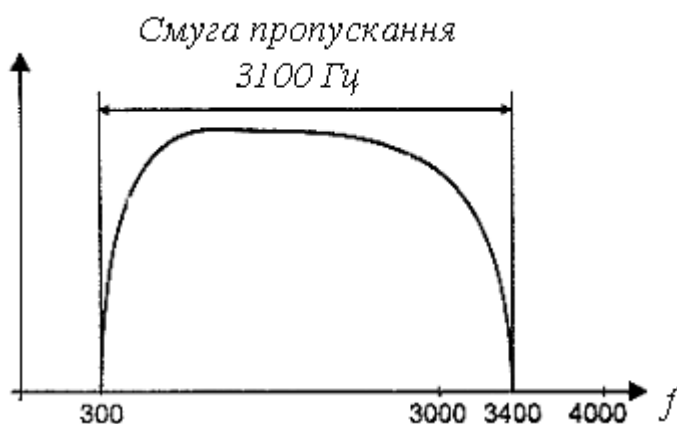


Рисунок 3.8 – Амплітудно-частотна характеристика каналу тональної частоти

Аналогова модуляція є таким способом фізичного кодування, при якому інформація кодується зміною амплітуди, фази чи частоти синусоїдального

сигналу несучої частоти. Основні способи аналогової модуляції показані на рис. 3.9. На діаграмі (рис. 3.9, а) показана послідовність бітів вихідної інформації, подана потенціалами високого рівня для логічної одиниці і потенціалом нульового рівня для логічного нуля. Такий спосіб кодування називається потенційним кодом, що часто використовується при передачі даних між блоками комп'ютера.

При амплітудній модуляції (рис. 3.9, б) для логічної одиниці вибирається один рівень амплітуди синусоїди несучої частоти, а для логічного нуля – інший. Цей спосіб рідко використовується в чистому вигляді на практиці через низку завадостійкості, але часто застосовується в поєднанні з іншим видом модуляції – фазовою модуляцією.

При частотній модуляції (рис. 3.9, в) значення 0 і 1 вихідних даних передаються синусоїдами з різною частотою – і . Цей спосіб модуляції не потребує складних схем у модемах і звичайно застосовується в низькошвидкісних модемах, що працюють на швидкостях 300 чи 1200 біт/с.

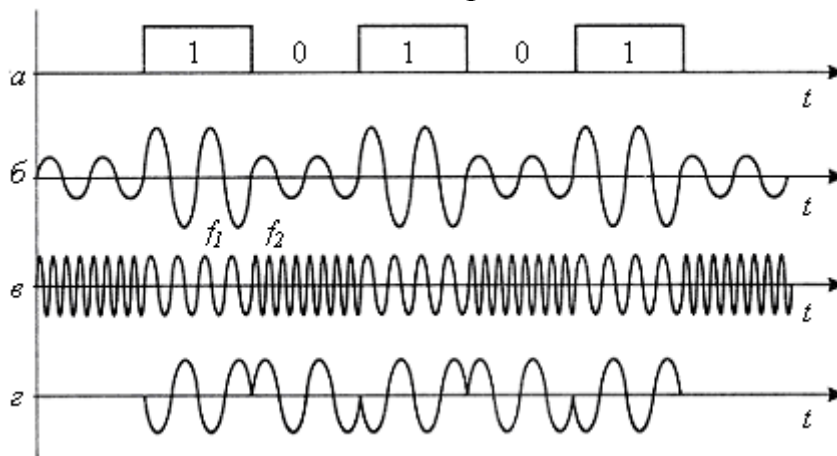


Рисунок 3.9 – Різні види модуляції

При фазовій модуляції (рис. 3.9, г) значенням даних 0 і 1 відповідають сигнали однакової частоти, але з різною фазою, наприклад 0 і 180 градусів чи 0, 90, 180 і 270 градусів.

У швидкісних модемах часто використовуються комбіновані методи модуляції, як правило, амплітудна в поєднанні із фазовою.

Порівняння спектрів сигналів з різними видами модуляції

Спектр результуючого модульованого сигналу залежить від типу модуляції і швидкості модуляції, тобто бажаної швидкості передачі бітів вихідної інформації.

Розглянемо спочатку спектр сигналу при потенційному кодуванні. Нехай логічна одиниця кодується позитивним потенціалом, а логічний нуль – негативним потенціалом такої ж величини. Для спрощення обчислень припустимо, що передається інформація, яка складається з нескінченної послідовності одиниць і нулів, що чергуються, як це і показано на рис. 3.10, а. Зауважимо, що в даному випадку величини бодів і бітів у секунду збігаються.

Для потенційного кодування спектр безпосередньо виходить з формул Фур'є для періодичної функції. Якщо дискретні дані передаються з бітовою швидкістю біт/с, то спектр складається з постійної складової нульової частоти і нескінченного ряду гармонік з частотами $f_0, 3f_0, 5f_0, \dots$, де f_0 – частота біт. Амплітуди цих гармонік зменшуються досить повільно – з коефіцієнтами $1/3, 1/5, 1/7, \dots$ від амплітуди гармоніки (рис. 3.2.4, а). В результаті спектр потенційного коду потребує для якісної передачі широку смугу пропускання. Крім того, потрібно врахувати, що реально спектр сигналу постійно змінюється в залежності від того, які дані передаються по лінії зв'язку. Наприклад, передача довгої послідовності нулів чи одиниць зміщує спектр у бік низьких частот, а в крайньому випадку, коли передані дані складаються тільки з одиниць (чи тільки з нулів), спектр складається з гармоніки нульової частоти. При передачі одиниць, що чергуються, і нулів постійна складова відсутня. Тому спектр результуючого сигналу потенційного коду при передачі довільних даних займає смугу від деякої величини, близької до 0 Гц, до приблизно f_0 (гармоніками з частотами вище можна знехтувати через їх малий внесок у результуючий сигнал).

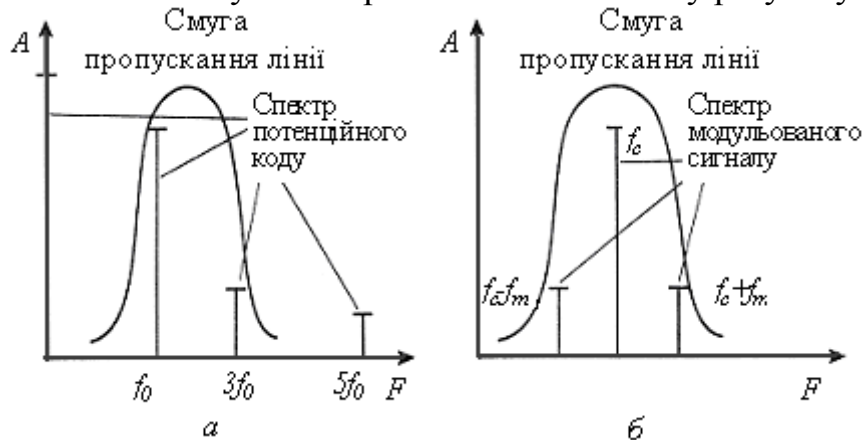


Рисунок 3.10 – Амплітуда модуляції неперервного процесу

Для каналу тональної частоти верхня границя при потенційному кодуванні досягається для швидкості передачі даних у 971 біт/с, а нижня неприйнятна для будь-яких швидкостей, тому що смуга пропускання каналу починається з 300 Гц. У результаті потенційні коди на каналах тональної частоти ніколи не використовуються.

При амплітудній модуляції спектр складається із синусоїди несучої частоти f_c і двох бічних гармонік: $(f_c + f_m)$ і $(f_c - f_m)$, де f_m – частота зміни інформаційного параметра синусоїди, що збігається зі швидкістю передачі даних при використанні двох рівнів амплітуди (рис. 3.2.4, б).

Частота f_m визначає пропускну здатність лінії при даному способі кодування. При невеликій частоті модуляції ширина спектра сигналу буде також невеликою (рівною $2f_m$), тому сигнали не будуть спотворюватися лінією, якщо її смуга пропускання буде більша чи дорівнюватиме $2f_m$. Для каналу тональної частоти такий спосіб модуляції прийнятний при швидкості передачі даних не більше $3100/2=1550$ біт/с. Якщо ж для подання даних використовуються 4 рівні амплітуди, то пропускна здатність каналу підвищується до 3100 біт/с.

При фазовій і частотній модуляції спектр сигналу виходить більш складним, чим при амплітудній модуляції, тому що бічних гармонік тут утвориться більш двох, але вони також симетрично розташовані щодо основної несучої частоти, а їх амплітуди швидко зменшуються. Тому ці види модуляції також добре підходять для передачі даних по каналу тональної частоти.

Для підвищення швидкості передачі даних використовують комбіновані методи модуляції. Найбільш розповсюдженими є методи квадратурної амплітудної модуляції (Quadrature Amplitude Modulation, QAM). Ці методи ґрунтуються на поєднанні фазової модуляції з 8 значеннями величин зміщення фази й амплітудної модуляції з 4 рівнями амплітуди. Однак з можливих 32 комбінацій сигналу використовуються далеко не всі. Наприклад, у кодах Трелліса припустимі всього 6, 7 чи 8 комбінацій для подання вихідних даних, а інші комбінації є забороненими. Така надмірність кодування потрібна для розпізнавання модемом помилкових сигналів, що є наслідком перекручувань через перешкоди на телефонних каналах, які комутуються дуже значними за амплітудою і тривалими за часом.

Імпульсна модуляція

В імпульсній модуляції як носій модульованих сигналів використовуються послідовності імпульсів, як правило – прямокутних. У бездротових системах передачі даних в радіозв'язку ці послідовності заповнюються високочастотними коливаннями, створюючи тим самим подвійну модуляцію. Як правило, ці види модуляції застосовуються при передачі дискретизованих даних.

У залежності від вигляду модульованого параметра розрізняють такі види модуляції.

1. Амплітудно-імпульсна модуляція (АІМ), A – var. (рис. 3.11)
2. Широтно-імпульсна модуляція (ШІМ), τ_2 – var.
3. Фазово-імпульсна модуляція (ФІМ), τ_1 – var, тобто змінюється положення імпульсу на інтервалі T .
4. Частотно-імпульсна модуляція (ЧІМ), $f = 1/T$ – var.

Для прямокутних імпульсів найбільш широко використовуються амплітудно-імпульсна (АІМ) і широтно-імпульсна (ШІМ) модуляції.

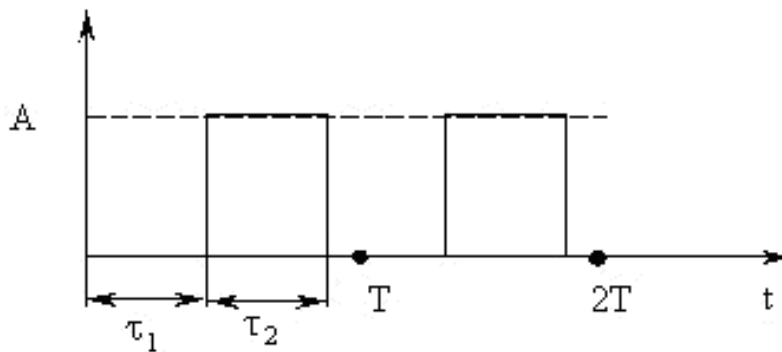


Рисунок 3.11 – Основні види імпульсної модуляції

Модуляцію розрізняють також за характером зв'язку між вхідним (модулюючим) сигналом і модульованим параметром на модуляцію I-го, II-го роду (рис. 3.12).

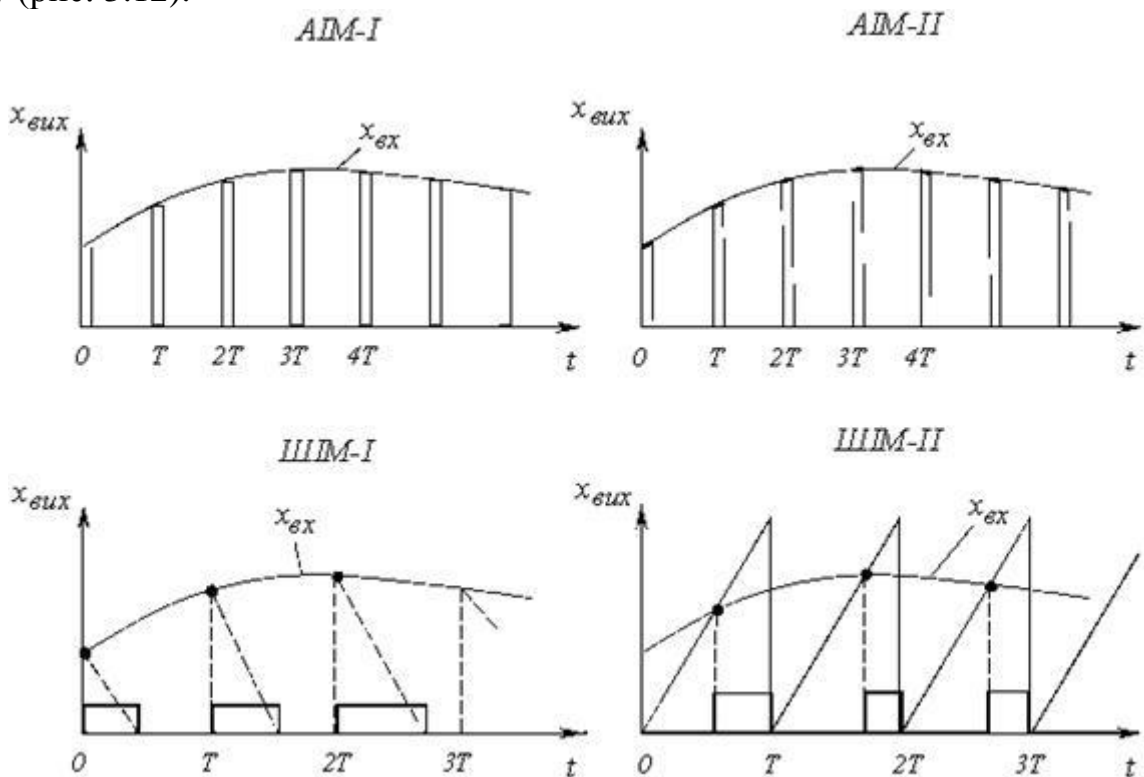


Рисунок 3.12 – Види імпульсної модуляції за характером зв'язку між вхідним сигналом і модульованим параметром

Якщо модульований параметр визначається значеннями вхідного сигналу у фіксовані, рівновіддалені один від одного моменти часу (тактові), то це модуляція першого роду (AIM-I, ШИМ-I і т. д.) Якщо значення модульованого параметра визначаються деяким функціоналом від вхідного сигналу, або визначаються в результаті розв'язання трансцендентних рівнянь, то це модуляція другого роду (AIM-II, ШИМ-II і т. д.) Іншими словами, якщо модульований параметр у процесі існування імпульсу залишається постійним, то це модуляція першого роду, якщо ж модульований параметр змінюється відповідно до поточного значення вхідного сигналу – то це модуляція другого роду.