

❖ Теорія електромагнітного поля

Розділ 1

ЕЛЕКТРОДИНАМІКА – ОСНОВА ПРОФЕСІОНАЛІЗМУ СПЕЦІАЛІСТА ЕЛЕКТРОТЕХНІКИ ТА ЕЛЕКТРОТЕХНОЛОГІЙ



Зміст

- 1.1 *Предмет та завдання курсу*
- 1.2 *Стисла історична довідка*
- 1.3 *Розподіл електромагнітних хвиль за діапазонами*
- 1.4 *Спрощена схема відеозв'язку*
- 1.5 *Висновки*
- 1.6 *Контрольні питання та завдання*

Поняття “електродинаміки”

Електродинаміка — це розділ фізики, що вивчає закони руху та взаємодії електричних зарядів – наука про електромагнітні поля і електромагнітні хвилі, яка базується на хвильовому уявленні електромагнітного поля.

1.1. Предмет і задачі курсу

- ❖ Проаналізуємо типову для телекомунікації ситуацію. Є передавальна А та приймальна В радіостанції

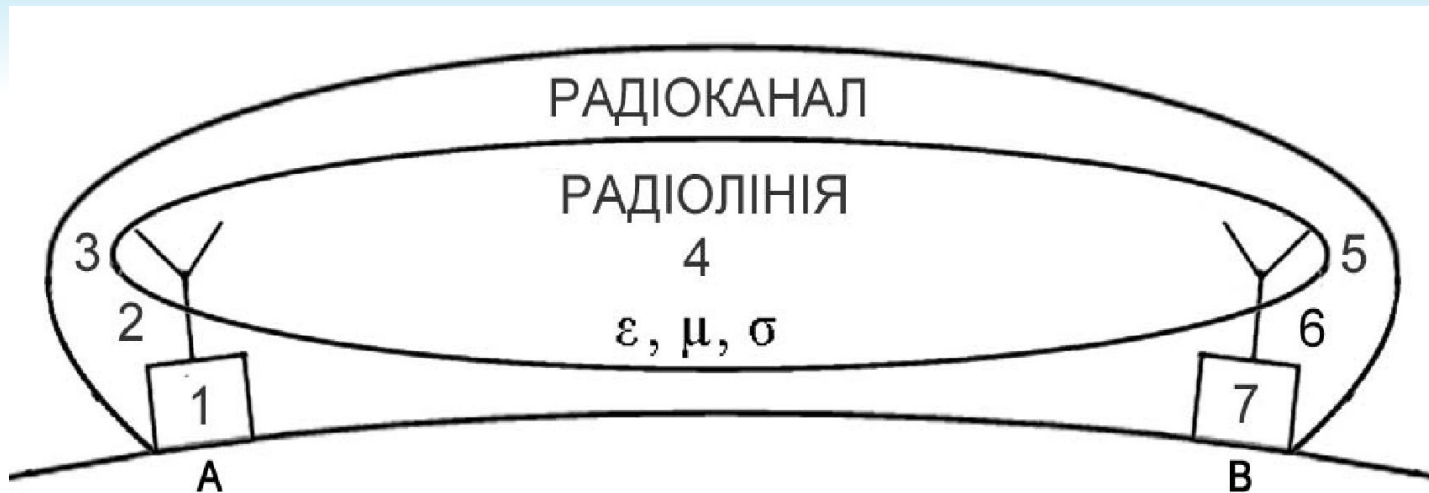


Рисунок 1.1 Спрощена схема організації радіозв'язку (РАДІОКАНАЛ)

- ❖ Після відповідного формування сигналу, його підсилення та перетворення в комплексі 1, проходження через фідерний тракт 2 й випромінювання антеною 3, електромагнітна енергія поширюється в навколишньому середовищі 4 (з параметрами: діелектрична проникність ϵ , магнітна проникність μ , питома електропровідність σ) її сприймає антена 5, й через фідерний тракт 6 потрапляє до приймального пристрою 7, в якому обробляється та як інформація надається користувачу. Цей процес реалізовано *радіоканалом*.

(За ДСТУ 3254-95 «Радіозв'язок. Терміни та визначення»)

- ❖ **Радіоканал** – це сукупність радіотехнічних пристроїв разом з радіолінією, що призначено для передавання повідомлень від відправника до одержувача (на рис. 1.1 це 1–7).
- ❖ **Радіолінія** – це сукупність передавальної, приймальної антен та середовища поширення радіохвиль (на рис. 1.1 це 3–5).

Таким чином, процеси *формування* (збудження), випромінювання й поширення в різних середовищах електромагнітної енергії електромагнітними хвилями – носіями інформації є змістом курсу «Технічна електродинаміка». Задачі електродинаміки пов'язані з діапазонами частот, які застосовує сучасна радіотехніка.

- ❖ **Електромагнітне поле (ЕМП)** – вид матерії, яку означають в усіх точках двома векторними величинами, які характеризуються двома його складниками, що називають відповідно «електричне поле» та «магнітне поле», які чинять силовий вплив на заряджені частинки залежно від їх швидкості та значення їх заряду

- ❖ *Електричне поле – це один з двох складників ЕМП, обумовлений електричними зарядами та змінним магнітним полем.*
- ❖ *Електричне поле – це прояв ЕМП, який характеризують впливом на електричну заряджену частинку із силою, що пропорційна заряду частинки і не залежить від її швидкості.*

- ❖ *Магнітне поле – це один з двох складників ЕМП, обумовлений рухомими електричними зарядами (електричним струмом) та змінним електричним полем.*
- ❖ *Магнітне поле – це прояв електромагнітного поля, який характеризують впливом на рухомі заряджені частинки із силою, пропорційною заряду частинки та її швидкості.*

- ❖ Модуляція - процес зміни одного або декількох параметрів високочастотного носійного коливання за законом інформаційного сигналу.
- ❖ Передана інформація закладена в керуючому (модулювальному сигналі, а функцію передавальника інформації виконує високочастотне коливання, назване носійним. Модуляція, таким чином, являє собою процес «впровадження» інформаційного коливання на завідомо відому носійну частоту.
- ❖ В результаті модуляції спектр низькочастотного керувального сигналу переносять в область високих частот. Це забезпечує під час організації мовлення налаштувати функціонування всіх приймально-передавальних пристроїв на різних частотах з тим, щоб вони «не заважали» один одному.
- ❖ В якості носійного можуть бути використані коливання різної форми (прямокутні, трикутні і т. і.), Однак найчастіше застосовують гармонічні коливання. Залежно від того, який з параметрів носійного коливання змінюється, розрізняють вид модуляції (амплітудна, частотна, фазова та ін.). Модуляцію дискретним сигналом називають цифровою модуляцією або маніпуляцією.
- ❖ Демодуляція - процес, зворотний модуляції коливань, перетворення модульованих коливань високої (носійної) частоти в коливання з частотою модулювального сигналу.
- ❖ Для передання енергії електромагнітної хвилі використовують високочастотні коливання, а коливання низької частоти використовують для модуляції (слабкої зміни амплітуди або фази) високочастотних коливань. На приймальній станції з цих складних коливань за допомогою спеціальних методів знову виділяють коливання низької частоти, які після посилення подають на гучномовець. Цей процес виділення інформації з прийнятих модульованих коливань отримав назву демодуляції, або детектування коливань.

Фізичні величини

Скалярні
(значення)

$\text{grad}[\text{скаляр}] \Rightarrow [\text{вектор}]$

Векторні
(значення, напрям,
розташування в
просторі)

$\text{div}[\text{вектор}] \Rightarrow [\text{скаляр}]$
 $\text{rot}[\text{вектор}] \Rightarrow$
 $[\text{вектор}]$

Рисунок 1.2 Умовна класифікація фізичних величин із визначенням їх характеристик

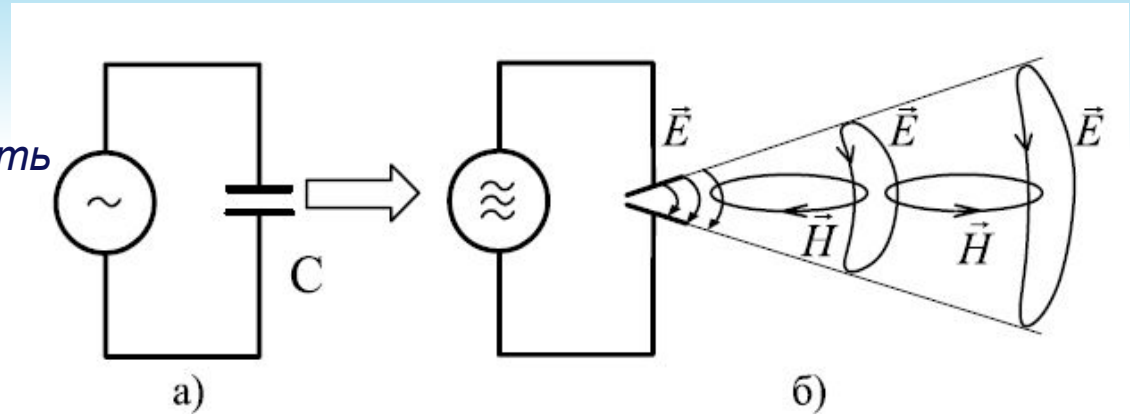
Таким чином, скалярні та векторні величини, які зв'язані між собою математичними співвідношеннями, описують інтегральними та диференціальними характеристиками.

Дескриптори електромагнітного поля

– вектор напруженості електричного поля	$\vec{E}; \left[\frac{В}{М} \right]$
– вектор напруженості магнітного поля	$\vec{H}; \left[\frac{А}{М} \right]$
– вектор електричного зміщення (густина електричного заряду)	$\vec{D}; \left[\frac{Кл}{М^2} \right]$
– вектор магнітної індукції (густина магнітного потоку)	$\vec{B}; \left[\frac{Вб \cdot с}{М^2} \right] \rightarrow \left[\frac{В}{М^2} \right] \rightarrow [Тл]$
– густина струму	$\vec{J}; \left[\frac{А}{М^2} \right]$
– заряд електричний	$q, [А \cdot с] \rightarrow [Кл]$
– потенціал електричний	$\varphi; [В]$
– векторний магнітний потенціал	$\vec{A}; \left[\frac{В \cdot с}{М} \right]$

Формування електромагнітного поля в просторі

Електромагнітні хвилі поширюється у просторі чи середовищі, яке характеризують електродинамічними параметрами (діелектричною проникністю ϵ , магнітною проникністю μ та питомою електропровідністю σ).



Між пластинами конденсатора створюється змінне електричне поле. Якщо обкладинки конденсатора розвести на деякий кут одну від одної, то електричне поле “вийде” за межі конденсатора та створить у просторі магнітне поле, яке створить електричне поле і т. д., тобто буде створено електромагнітну хвилю (рис.1.3,б)

Незмінний в часі *постійний струм* I створює *магнітне поле*, яке визначають *напруженістю магнітного поля* \vec{H} , *вектором густини магнітного потоку* (вектором магнітної індукції) \vec{B} . Для полегшення розв'язку прямої та зворотної задач магнітостатики використовують допоміжну величину – *векторний магнітний потенціал* \vec{A} (рис. 1.4 б).

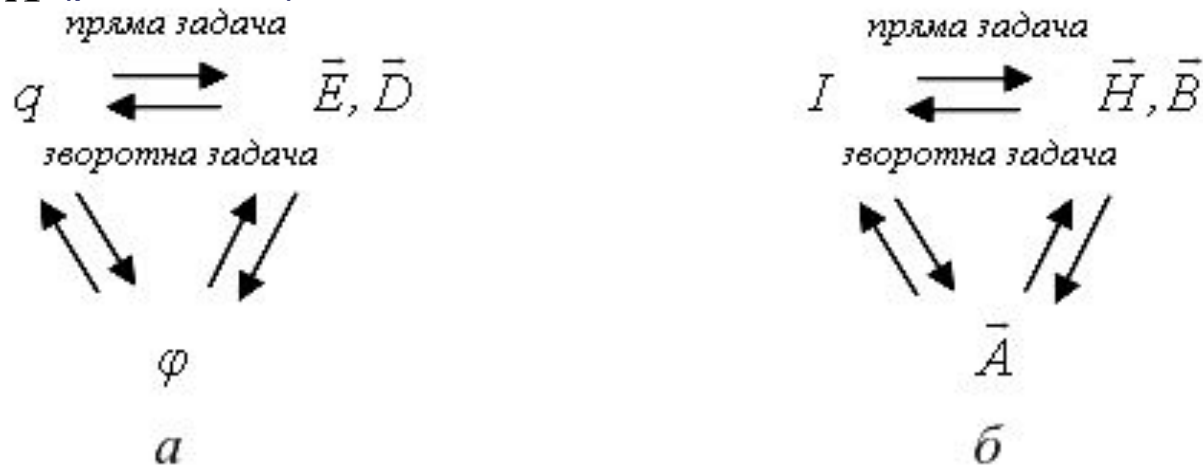


Рисунок 1.4 – Спрощена модель взаємозв'язку між величинами, що визначають поле: а – електричне, б – магнітне

Спрощену модель взаємозв'язку характеристик електромагнітного поля за змінних значень $q(t)$, $i(t)$ представлено на рис. 1.5. На відміну від статичних режимів (рис. 1.4), де електричне й магнітне поля існують окремо одне від іншого, за динамічних умов (тобто змінних в часі параметрів поля) вони існують спільно та створюють одне одного (рис. 1.5).

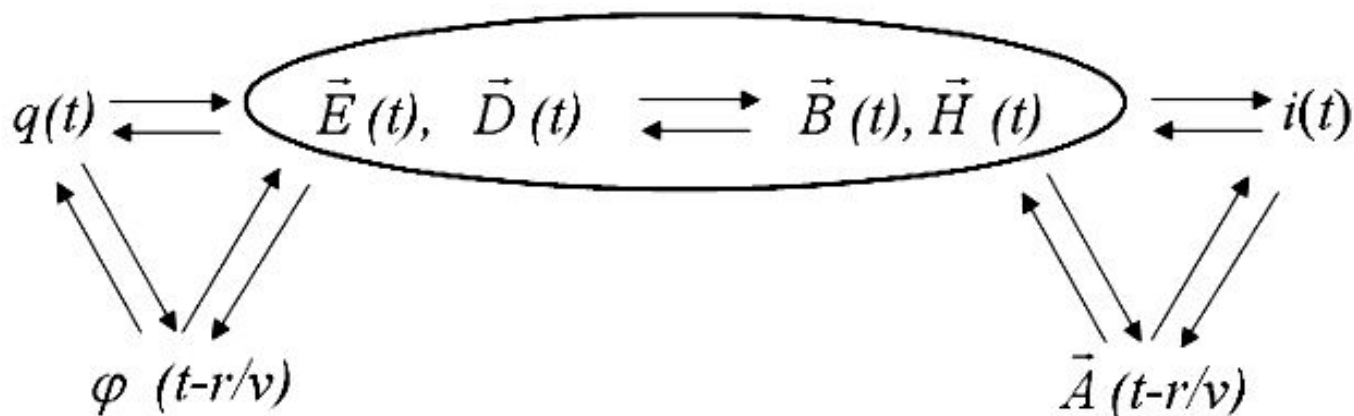
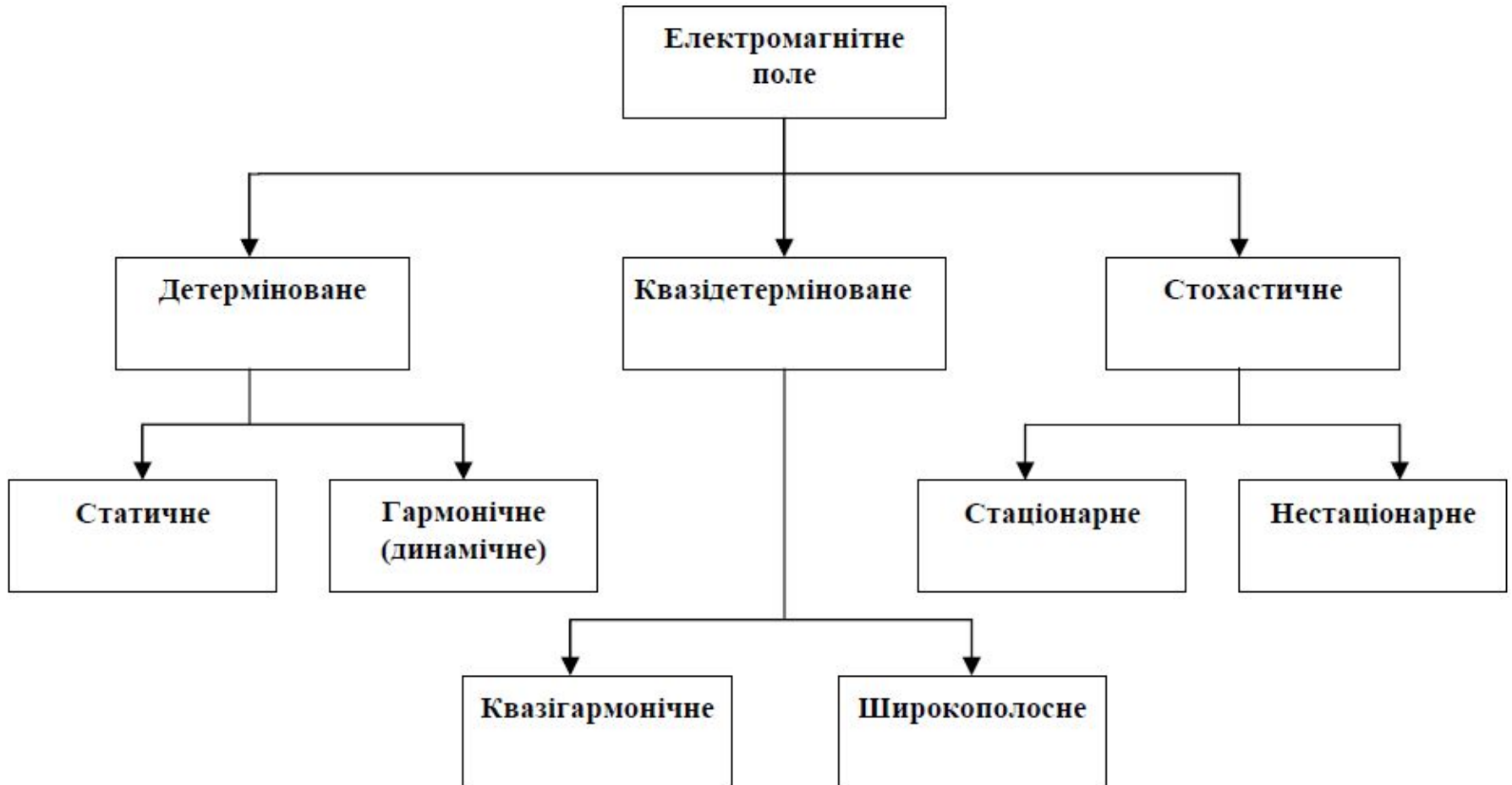


Рисунок 1.5 – Спрощена модель взаємозв'язку величин, які визначають електромагнітне поле

Різновиди електромагнітного поля



1.2. Стисла історична довідка

Можливість використання електромагнітної енергії для перетворення та передачі інформації була відкрита більше ніж 160 років тому, і як сучасну основу радіозв'язку – більше 110 років тому.

- 1600 – Вільям Гільберт застосував поняття «електрон» (грецькою мовою *бурштин* –) у книзі «Про магнітні тіла та великий магніт Землю».
- 1729 – Відкрито явище електропровідності (Англія).
- 1773 – Генріх Кавендіш відкрив явище силової взаємодії зарядів.
- 1785 – Шарль Кулон описав явище силової взаємодії зарядів та сформулював закон, який отримав назву за його ім'ям.
- 1791 – Луїджі Гальвані винайшов джерело струму, яке отримало назву «гальванічний елемент».
- 1794 – Алессандро Вольта вдосконалив та описав джерело постійного струму («вольтів стовп»).
- 1820 – Ганс Христіан Ерстед відкрив явище відхилення магнітної стрілки біля провідника з електричним струмом.
- 1820 – Жан Батист Біо та Фелікс Савар виміряли значення магнітного поля, створеного провідником зі струмом.
- 1820 – Андре-Марі Ампер сформулював закон, що визначає взаємозв'язок сили струму з напруженістю магнітного поля (закон повного струму).
- 1826 – Георг Сімон Ом сформулював експериментальний закон електричного кола (закон Ома).
- 1831 – Майкл Фарадей сформулював закон електромагнітної індукції (закон Фарадея).
- 1832 – Павло Шилінг встановив телеграфний зв'язок у Санкт-Петербурзі: між Зимовим Палацом та Міністерством шляхів в Росії.

- 1837 – Семюель Морзе запропонував телеграфний апарат, та розробив абетку для передавання телеграфних сигналів.
- 1842 – Джозеф Генрі повідомив про приймання на відстані майже 10 м сигналів від іскрового передавача.
- 1845 – Густав Роберт Кірхгоф відкрив закономірності розподілення електричного струму в розгалуженому колі та сформулював відповідні закони.
- 1861 – Філіп Райс вперше сформулював ідею телефону.
- 1870 – Побудовано трансконтинентальну телеграфну лінію «Лондон – Варшава – Житомир – Одеса – Тегеран – Бомбей».
- 1873 – Джеймс Кларк Максвелл опублікував трактати із узагальненням законів електромагнетизму.
- 1876 – Александр Белл запатентував електромагнітний телефон (США).
- 1877 – Томас Алва Едісон винайшов фонограф – пристрій для механічного запису та відтворення звуку (США).
- 1881 – Почав діяти перший міський Київський телеграф.
- 1882 – Надруковано наукову статтю Уільяма Крука із викладанням принципів радіозв'язку, які були реалізовані у перші два десятиріччя ХХ століття.
- 1886 – Відкрито першу телефонну станцію в Києві.
- 1888 – Генріх Герц експериментально довів існування електромагнітних хвиль (хвилі Герца).
- 1890 – Едуард Бранлі запропонував детектор із назвою радіоконтур (у подальшому його називають «когерер»), що започаткувало використання терміну «радіо».
- 1895 – Олександр Попов вперше продемонстрував сеанс радіозв'язку.
- 1897 – Джон Томсон описав параметри електрона: *заряд електрона: $e = - 1.6021892 \cdot 10^{-19}$*
Кл, маса електрона: $m_e = 9.109534 \cdot 10^{-31}$ кг.

1897 – Карл Фердинанд Браун запропонував кінескоп – «трубка Брауна» (*Лауреат Нобелівської премії 1909 р* – разом з Гульєльмо Марконі).

1897 – Гульєльмо Марконі отримав патент на застосування електромагнітних хвиль для безпроводового зв'язку. (*Лауреат Нобелівської премії 1909 р.* разом з Карлом Фердинандом Брауном).

1901 – Гульєльмо Марконі здійснив зв'язок через Атлантичний океан.

1902 – Здійснено перші в Україні пробні радіопередачі між Херсоном та Голою пристанню.

1906 – Організовано *першу конференцію* з питань радіо (Берлін).

1907 – Борис Розінг запатентував «Спосіб електричного передавання зображень на відстань» із застосуванням трубки Брауна (Росія).

1923 – Володимир Зворикін винайшов іконоскоп, що сприяло розвитку електронного телебачення.

1924 – *16 листопада* – Започатковане регулярне радіомовлення в Україні. (*День працівників радіо, телебачення та зв'язку України*).

1928 – Борис Грабовський здійснив пересилання на деяку відстань сигналу рухомого зображення електронною системою телебачення. Свій винахід він назвав «Телефот» (СРСР).

1936 – Впроваджено телевізійне мовлення за системою електронної розгортки (США, Англія, Франція).

1938 – Впроваджено телевізійне мовлення в СРСР.

1947 – Винайдено транзистор (США).

- 1957 – Виведено на навколосемну орбіту перший штучний супутник Землі з радіопередавачем (СРСР).
- 1959 – Створено інтегральну мікросхему (США).
- 1965 – Створено першу систему міжнародного супутникового зв'язку «*Intelsat*».
- 1967 – У Києві впроваджено радіотелефонний зв'язок системи «Алтай».
- 1969 – 29 жовтня – День народження web павутини.
- 1969 – Створено мікропроцесор (США).
- 1970 – Міжнародна організація із стандартизації (*ISO*) запропонувала стандарт, який охоплює всі аспекти мережевого зв'язку, – це модель взаємодії відкритих систем (*OSI*).
- 1979 – Запроваджено першу мережу стільникового радіозв'язку (Японія).
- 1992 – Проведено перший міжнародний форум інформатизації МФІ–92.
- 1993 – У Києві почала діяти перша в Україні мережа стільникового радіозв'язку.
- 1994 – День 26 листопада офіційно зареєстровано ЮНЕСКО, як всесвітній день інформації.
- 1995 – Впроваджено систему *IS95 CDMA* (США).
- 1998 – Впроваджено глобальну супутникову систему *Iridium*.
- 2002 – Розпочато розгортання стільникових систем мобільного зв'язку третього покоління *IMT-2000*.
- 2005 – Телекомунікаційний оператор *Partner Communications* почав експериментальну експлуатацію мереж мобільного зв'язку покоління 3,5G.
- 2006 – Корейська компанія *Samsung Electronics* провела демонстрацію технології мереж четвертого покоління (*4G*).
- 2010 – Internet вийшов у космос – на міжнародній космічній станції.
- 2012 – У зв'язку з проведенням Євро-2012 створено мережу "Kyiv Free Wi-Fi" на території фан-зони на вулиці Хрещатик у м. Київ.
- 2013 – Урядовцями Євросоюзу ухвалено рішення щодо розроблення МСМ3 наступного покоління – 5G.

1.3. Розподіл радіохвиль за діапазонами

№№ діапазонів п	За частотою			За довжиною хвилі			Орієнтовні галузі застосування
	назва	скорочення (рос.) [англ.]	частоти	назва	скорочення*	довжина	
1	вельминизькі частоти	ВНЧ (КНЧ) [ELF]	3...30 Гц	декамегаметрові	–	10...100 Мм	спеціальна, ЗПЧ
2	наднизькі частоти	ННЧ (СНЧ) [SLF]	30...300 Гц	мегаметрові хвилі	–	1...10 Мм	спеціальна, ЗПЧ ЛЕП
3	інфранизькі частоти	ІНЧ (ИНЧ) [ULF]	300...3000 Гц	гектокілометрові хвилі	–	100...1000 км	ЗПЧ, ЗШ, телефонний зв'язок
4	дуже низькі частоти	ДНЧ (ОНЧ) [VLF]	3...30 кГц	міріаметрові хвилі	–	10...100 км	РН, МС, РТГЗ, РЗПЧ, СЧ
5	низькі частоти	НЧ (НЧ) [LF]	30...300 кГц	кілометрові хвилі (довгі хвилі)	ДХ	1...10 км	РАЗ, РН, РТЗ, РТГЗ, РМ, СЧ
6	середні частоти	СЧ (СЧ) [MF]	0,3...3 МГц	гектометрові хвилі (середні хвилі)	СХ	0,1...1 км	РАЗ, РТГЗ, РМ
7	високі частоти	ВЧ (ВЧ) [HF]	3...30 МГц	декаметрові хвилі (короткі хвилі)	КХ	10...100м	ВЗ, РАЗ, РМ, РЧІ (RFID), РТГЗ

8	дуже високі частоти	ДВЧ (ОВЧ) [VHF]	30...300 МГц	метрові хвилі (ультракороткі хвилі – м)	УКХ – м	1...10м	РМЧМ(FM), ТБ, РЛ, КЗ, РАЗ, РРЗ
9	ультрависокі частоти	УВЧ (УВЧ) [UHF]	300...3000 МГц	дециметрові хвилі (ультракороткі хвилі – дм)	УКХ – дм	0,1...1 м	БПТФ(LAN, Bluetooth, GPS) КЗ, ТБ, РРЗ, МЗ
10	надвисокі частоти	НВЧ (СВЧ) [SHF]	3...30 ГГц	сантиметрові хвилі (ультракороткі хвилі – см)	УКХ – см	1...10 см	БПТФ(LAN, Bluetooth, GPS) РА,РЛ, КЗ, АН
11	вельмивисокі частоти	ВВЧ (КВЧ) [EHF]	30...300 ГГц	міліметрові хвилі	–	1...10 мм	РА, РЛ, КЗ
12	гіпервисокі частоти	ГВЧ (ГВЧ) [THF]	300...3000 ГГц	дециміліметрові хвилі	–	0,1...1 мм	КРЕ, МП, ТГЗ

Список скорочень деяких галузей застосування радіохвиль

ЗПЧ	зв'язок з підводними човнами
ЛЕП	лінії електропередавання
ЗШ	зв'язок з шахтами
РН	радіонавігація
МС	метеослужба
РТГЗ	радіотелеграфний зв'язок
СЧ	сигнали часу
РАЗ	радіоаматорський зв'язок
РТЗ	радіотелефонний зв'язок
РМ	радіомовлення
ВЗ	військовий зв'язок
РЧІ (RFID)	радіочастотна ідентифікація
РМЧМ (FM)	радіомовлення з частотною модуляцією
ТБ	телебачення
РЛ	радіолокація

Таблиця 1.2 Список скорочень деяких галузей застосування радіохвиль

КЗ	космічний зв'язок
РРЗ	радіорелейний зв'язок
БПТФ(LAN, Bluetooth, GPS)	безпроводовий зв'язок
МЗ	мобільний зв'язок
РА	радіоастрономія
АН	астронавігація
КРЕ	квантова радіоелектроніка
МП	мікрохвильова піч
ТГЗ	терагерцові засоби

Таблиця 1.2 (продовження) – список скорочень деяких галузей застосування радіохвиль

Є також смуги частот обмеженого конкретного застосування.

У таблиці 1.4 наведено смуги частот за стандартом Інституту інженерів з електроніки та електротехніки (IEEE).

Назва	Значення	Пояснення до назви смуги частот]
HF	(3 ... 30) МГц	High Frequency – високі частоти
VHF	(30 ... 300) МГц	Very High Frequency – дуже високі частоти
L	(1 ... 2) ГГц	Long wave – довгі хвилі
S	(2 ... 4) ГГц	Short wave – короткі хвилі
C	(4 ... 8) ГГц	Compromise between S and X – проміжок між S та X
X	(8 ... 12) ГГц	Used in WW II for fire control, X for cross (as in crosshair). Застосовне під час Другої Світової війни у протипожежних засобах та приладах прицілювання
Ku	(12 ... 18) ГГц	Kurz-under – німецькою мовою – короткі нижчі
K	(18 ... 27) ГГц	German Kurz (short) – німецькою мовою – короткі
Ka	(27 ... 40) ГГц	Kurz-above – німецькою мовою – короткі вищі
V	(40 ... 75) ГГц	<i>Без пояснень</i>
W	(75 ... 110) ГГц	W follows V in the alphabet – за абеткою W після V
G	(110 ... 300) ГГц	<i>Без пояснень</i>
H	(220 ... 325) ГГц	<i>Без пояснень</i>

Таблиця 1.3. Смуги частот за стандартом IEEE Std 521-2002

Назва смуги	Смуга частот, ГГц
A	0 ... 0,25
B	0,25 ... 0,5
C	0,5 ... 1,0
D	1 ... 2
E	2 ...
F	3 ... 4
G	4 ... 6
H	6 ... 8
I	8 ... 10
J	10 ... 20
K	20 ... 40
L	40 ... 60
M	60 ... 100

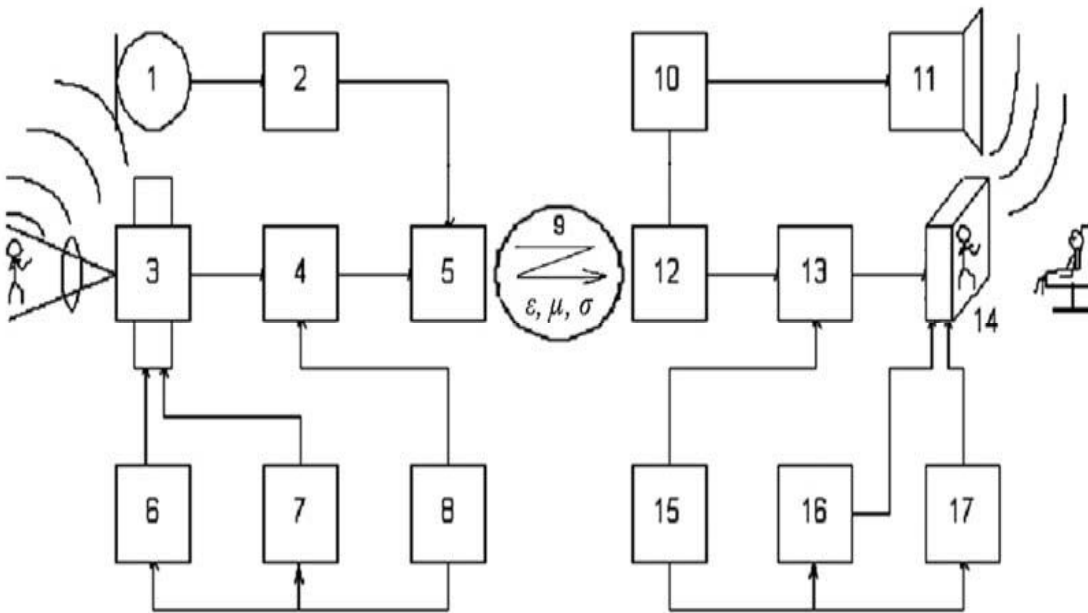
Таблиця 1.4. Смуги частот, які застосовні у структурах EU, NATO..., US ECM

Назва смуги	Смуга частот, ГГц
R	1,70 ... 2,60
D	2,20 ... 3,30
S	2,60 ... 3,95
E	3,30 ... 4,90
G	3,95 ... 5,85
F	4,90 ... 7,05
C	5,85 ... 8,20
H	7,05 ... 10,10
X	8,2 ... 12,4
Ku	12,4 ... 18,0
K	15,0 ... 26,5
Ka	26,5 ... 40,0
Q	33 ... 50
U	40 ... 60
V	50 ... 75
W	75 ... 110
Y	325 ... 500

Таблиця 1.5. Смуги частот, які застосовні у структурах EU, NATO..., US ECM

1.4. Спрощена схема відеозв'язку

У системах відеозв'язку зображення передають паралельно зі звуковим супроводом.



- 1 – мікрофон;
- 2 – підсилювач звуку;
- 3 – перетворювач “світло-сигнал”;
- 4 – відеопідсилювач;
- 5 – перетворювач сигналів (передавач);
- 6, 17 – генератор горизонтальної (рядкової) розгортки;
- 7, 16 – генератор вертикальної (кадрової) розгортки;
- 8 – генератор синхроімпульсів;
- 9 – середовище поширення електромагнітних хвиль;
- 10 – підсилювач звукового сигналу;
- 11 – звуковідтворювальна система;
- 12 – перетворювач прийнятого сигналу (приймач);
- 13 – підсилювач відеосигналу;
- 14 – телевізійна трубка;
- 15 – селектор синхроімпульсів.

Рисунок 1.7 Спрощена функціональна схема відеозв'язку.

Інформацію про кожний елемент зображення передають послідовно в часі через розгортку, яку здійснюють синхронно на передавальній та приймальній сторонах. Генератор горизонтальної розгортки забезпечує швидке переміщення електронного променя за горизонталлю, а генератор вертикальної розгортки – відповідне переміщення за вертикаллю.

Основні параметри розкладання зображення:

z – число рядків;

k – формат кадру: (де h, l – висота та ширина кадру, відповідно);

N – число елементів розкладання;

n_p, n_e – число кадрів за секунду, що передають та відтворюють, відповідно.

В сучасній апаратурі зображення формується з 625 рядків. Вважають, що на відстані $(4...5)h$ від екрану рядкова структура зображення стає непомітною.

Наведемо історичну довідку:

1937 року у Москві використовували кількість рядків $z = 343$, у Ленінграді $z = 340$;

1941 року у СРСР – $z = 411$, а з 1948 року – $z = 625$.

Загальна кількість елементів розкладання зображення:

$$N = k \cdot z^2 = \frac{4}{3} \cdot 625^2 = 520000 \approx 5 \cdot 10^5 \text{ елементів.}$$

У процесі передавання рухомих зображень значення постійного складника безперервно змінюється відповідно до освітлення. Сигнали нижчих частот спектру відеосигнала відтворюють великі деталі зображення. *Мінімальну* частоту відеосигнал матиме в процесі передавання однотонно освітленої мішені – *жодного перепаду яскравості*, тобто частота сигналу дорівнює нулю $f_{\min} = 0$ Гц. Сигналом верхніх частот передають дрібні деталі зображення. Найбільш складним є зображення, яке можна уявити як послідовність змін чорних та білих елементів (“шахова дошка”) (рис. 1.8), що мають розміри, які дорівнюють товщині променя. Це зображення сформовано з максимальної кількості елементів зображення.

Визначимо максимальну частоту сигналу за умови, що частота кадрів в *режимі відтворення* $n_v = 50$ Гц

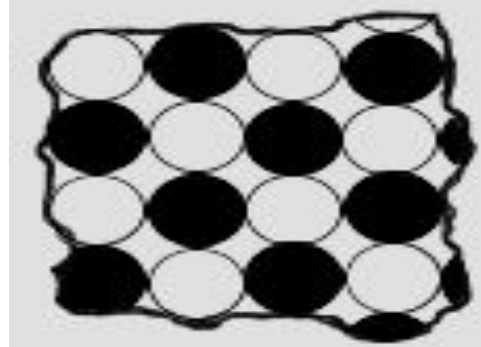
$$f_{\max} = n_v \cdot \frac{N}{2} = 50 \cdot \frac{5 \cdot 10^5}{2} = 12,5 \text{ МГц}$$


Рисунок 1.8 –Зображення дискретних сусідніх точок за умов сигналу “шахова дошка”

Спектр телевізійного відео сигналу охоплює смугу від 0 до 12,5 МГц.

Проте передавання сигналу з таким широким спектром пов'язане з технічними труднощами та обмежує кількість каналів. Тому, для зменшення смуги частот сигналів, який передають, застосовують *черезрядкову розгортку*, сутність якої полягає у тому, що кожен кадр поділяють на два півкадра (або поля) – парні та непарні, протягом яких передають 312,5 рядків, тобто в 2 рази менше, ніж для рядкової розгортки. Тоді частота =6.25 МГц.

Повний *телевізійний сигнал* є сумішшю *відеосигналу* та *синхросигналу*. Для передавання цього сигналу, а також сигналу звуку на відстань використовують носійні частоти, на яких здійснено поширення цих сигналів в просторі.

Перетворення телевізійного сигналу реалізовано у спеціальному пристрої – *модуляторі*.

В аналоговому телебаченні для передавання *зображення* застосовують *амплітудну модуляцію*, за якої здійснено вплив лише на амплітуду високочастотного сигналу носійної частоти.

У відповідності до засад амплітудної модуляції ширина спектру високочастотних складників після модуляції подвоюється, вона спричинює нижню та верхню бічні смуги і тоді загальна дорівнюватиме 12,5 МГц. Але й верхня, й нижня смуги містять інформацію про зображення, отже не є необхідним передавати їх разом. Для відтворення зображень достатньо передавати лише одну бічну (верхню) смугу частот (6,25 МГц), і невеликий «залишок» (12,5 МГц) від нижньої бічної смуги (рис. 1.9).

Для передавання звуку застосовують *частотну модуляцію* носійної, зі смугою (0,5 МГц) яку розташовують вище частотного спектру верхньої бокової смуги сигналу зображення. Інтервал між носійними зображення і звуку є $6,25+0,25=6,5$ МГц (це значення незмінне за будь-якого телевізійного каналу).

Таким чином загальна смуга телевізійного сигналу складає (рис.1.9 – рисунок без масштабу) $1,25+6,25+0,5 = 8$ МГц

- ❖ Дискретний канал - канал зв'язку, використовуваний для передачі дискретних повідомлень.
- ❖ Джерело дискретних повідомлень (ІДС) використовує для представлення інформації первинний алфавіт $\{A\}$. Первичний кодер (ПК) кодує знаки первинного алфавіту n елементарними сигналами з алфавітом $\{a\}$. Дія завад в процесі передачі може полягати в тому, що алфавіт прийнятих сигналів відрізнятиметься від алфавіту вхідних сигналів як їх числом так і характеристиками - нехай це буде алфавіт $\{b\}$, що містить m елементарних сигналів. Розбіжність алфавітів сигналів призводить до того, що на виході каналу з'являються такі комбінації елементарних сигналів, які не можуть бути інтерпретовані як коди знаків первинного алфавіту. Іншими словами, алфавіт приймача вторинного повідомлення (ПрмДС) $\{B\}$ може не збігтися з алфавітом $\{A\}$. Для простоти будемо вважати, що декодер вторинних сигналів суміщений з приймачем.
- ❖ Дискретний канал вважається заданим, якщо відомі:
 - ❖ час передачі одного елементарного сигналу;
 - ❖ вихідний алфавіт елементарних сигналів $\{a\}$, тобто всі його знаки a_i ($i = 1 \dots n$, де n - число знаків алфавіту $\{a\}$);
 - ❖ n значень ймовірностей появи елементарних сигналів на вході $p(a_i)$; ці ймовірності називаються априорними (оскільки вони визначаються не властивостями каналу, а джерелом повідомлення, тобто є зовнішніми по відношенню до каналу і самому факту передачі повідомлення);
 - ❖ алфавіт сигналів на виході каналу $\{b\}$, тобто всі знаки b_j ($j = 1 \dots m$, де m - число знаків алфавіту $\{b\}$); в загальному випадку nm ;
 - ❖ значення умовних ймовірностей $p_{a_i}(b_j)$, кожна з яких характеризує ймовірність появи на виході каналу сигналу b_j за умови, що на вхід був посланий сигнал a_i ; оскільки ці ймовірності визначаються властивостями самого каналу передачі, вони називаються апостеріорними; очевидно, кількість таких ймовірностей одно $n \cdot m$:

$$p_{a_1}(b_1), p_{a_1}(b_2), \dots, p_{a_1}(b_m)$$

$$p_{a_2}(b_1), p_{a_2}(b_2), \dots, p_{a_2}(b_m)$$

...

$$p_{a_n}(b_1), p_{a_n}(b_2), \dots, p_{a_n}(b_m)$$

- ❖ Очевидно також, що для кожного рядка виконується умова нормування:

$$\sum_{j=1}^m p_{a_i}(b_j) = 1 \quad (i = 1 \dots n).$$

- ❖ Як ми побачимо надалі, всі інші характеристики дискретного каналу можуть бути визначені через перераховані параметри.
- ❖ Дискретний канал називається однорідним, якщо для будь-якої пари i та j умовна ймовірність $p_{a_i}(b_j)$ з плином часу не змінюється (тобто вплив перешкод весь час однаково).
- ❖ Дискретний канал називається каналом без пам'яті, якщо $p(a_i)$ і $p_{a_i}(b_j)$ не залежать від місця знака в первинному повідомленні (тобто відсутні кореляції знаків).
- ❖ Будемо вважати, що для передачі використовуються коливальні або хвильові процеси - з практичної точки зору такі канали становлять найбільший інтерес (зокрема, до них відносяться комп'ютерні лінії зв'язку).
- ❖ Введемо ряд величин, які характеризують передачу інформації з каналу.

Ширина смуги пропускання

- ❖ Будь перетворювач, робота якого заснована на використанні коливань (електричних або механічних) може формувати і пропускати сигнали з обмеженою області частот. Приклад з телефонним зв'язком наводився вище. Те ж слід віднести і до радіо і телевізійного зв'язку - весь частотний спектр розділений на діапазони (ДВ, СВ, КВІ, КВІІ, УКВ, ДМВ), в межах яких кожна станція займає свій під діапазон, щоб не заважати мовленню інших.
- ❖ Інтервал частот, використовуваний даними каналом зв'язку для передачі сигналів, називається шириною смуги пропускання.
- ❖ Для побудови теорії важлива не сама ширина смуги пропускання, а максимальне значення частоти з даної смуги (ν_m), оскільки саме їм визначається тривалість елементарного імпульсу T :

$$T_0 = \frac{1}{\nu_m}$$

- ❖ Іншими словами, кожні T секунд по каналу можна передавати імпульс або паузу, пов'язуючи з їх послідовністю певні коди. Використовувати сигнали більшої тривалості, ніж T , в принципі, можливо (наприклад, $2T$) - це не приведе до втрати інформації, хоча знизить швидкість її передачі по каналу. Використання ж сигналів більш коротких, ніж T , може привести до інформаційних втрат, оскільки інформаційний параметр сигналу буде приймати якісь проміжні значення між заданими дискретними (наприклад, 0 і 1), що ускладнить їх інтерпретацію. Отже, по дискретному каналу за одиницю часу можна передавати не більше ν_m елементарних сигналів.

- ❖ Якщо канал є аналоговим, то V_m характеризує число повних коливань параметра за одиницю часу, з кожним з яких можна пов'язати два елементарних сигнали; з цієї причини зв'язок T і V_m виявляється іншою:

$$\tau = \frac{1}{2V_m}$$

- ❖ Надалі, як вже вказувалося, ми розглядатиме лише дискретний канал і, отже, використовувати (1).
- ❖ Можливі окремі випадки, коли передача ведеться на єдиній частоті, створюваної, наприклад, тактовим генератором; тоді, очевидно, V_m дорівнює тактовій частоті.
- ❖ Знаючи, можна знайти кількість елементарних сигналів, передане по каналу за одиницю часу:

$$L = \frac{1}{\tau}$$

- ❖ (очевидно, якщо відома V_m , то $L = V_m$). Якщо код знака первинного алфавіту складається з k_i елементарних сигналів, час його передачі по каналу складе $t_i = k_i \cdot \tau$, а середній час передачі кодової комбінації одного знака первинного алфавіту дорівнюватиме $t = K(A, a) \cdot \tau$.

Пропускна здатність каналу зв'язку

- ❖ З передачею одного елементарного сигналу пов'язано деяка кількість інформації I_s . Якщо загальне число різних елементарних сигналів n , а ймовірності їх появи $p(a_i)$ ($i = 1 \dots n$), то згідно з формулою Шеннона:

$$I_s = - \sum_{i=1}^n p(a_i) \cdot \log_2 p(a_i)$$

- ❖ Однак, як обговорювалося вище, оптимальним буде такий варіант кодування, при якому поява всіх елементарних сигналів (знаків вторинного алфавіту) виявляється рівноймовірною - в такому випадку:

$$I_s = I_{smax} = \log_2 n$$

- ❖ Це значення є граничним (найбільшим) для інформаційного змісту елементарного сигналу обраного вторинного алфавіту. Оскільки така кількість інформації передається за час T , можна ввести величину, що характеризує граничну інтенсивність інформаційного потоку через канал - пропускну здатність каналу C :

$$C = \frac{I_{smax}}{T} = L \cdot I_{smax} \quad (2)$$

- ❖ Дана величина є характеристикою каналу зв'язку, оскільки залежить тільки від його особливостей. Це вираз служить визначенням пропускну здатності як ідеального каналу (без перешкод), так і реального каналу з перешкодами - просто, як ми побачимо далі, інформаційний зміст елементарного сигналу в реальному каналі виявляється менше $\log_2 n$.
- ❖ Якщо I_{smax} виражено в бітах, а T - в секундах, то одиницею виміру C буде біт / с. Раніше така одиниця називалася бод, однак, назва не прижилася, і з цієї причини пропускна здатність каналу зв'язку вимірюється вбитий / с. Похідними одиницями є:

$$1 \text{ Кбіт / с} = 10^3 \text{ біт / с} \quad 1 \text{ Мбіт / с} = 10^6 \text{ біт / с} \quad 1 \text{ Гбіт / с} = 10^9 \text{ біт / с}$$

- ❖ За відсутності в каналі зв'язку перешкод $I_{smax} = \log_2 n$; тоді

$$C_0 = L \cdot \log_2 n = \frac{\log_2 n}{T} = v_m \cdot \log_2 n \quad (3)$$

- ❖ - Максимально можливе значення пропускну здатності (це обставина відбито індексом "0"); в реальному каналі $I_{smax} < \log_2 n$ і, отже, $C < C_0$.

Швидкість передачі інформації

- ❖ Якщо джерело видає L елементарних сигналів в одиницю часу, а середня довжина коду одного знака становить $K(A, a)$, то, очевидно, ставлення $L / K(A, a)$ буде виражати число знаків первинного алфавіту, видаваних джерелом за одиницю часу. Якщо з кожним з них пов'язано середня кількість інформації $I(A)$, то можна знайти загальну кількість інформації, переданої джерелом за одиницю часу - ця величина називається швидкістю передачі або ентропією джерела (будемо позначати її J):

$$J = \frac{L}{K(A, a)} \cdot I(A) = \frac{I(A)}{\tau \cdot K(A, a)} \quad (4)$$

- ❖ Ентропія джерела, на відміну від пропускну здатності, є характеристикою джерела, а не каналу зв'язку.
- ❖ Розмірністю J , як і C , є біт / с. Яке співвідношення цих характеристик? Розглянемо канал без перешкод. Тоді висловивши L з (3) і підставивши в (4), отримаємо:

$$J = \frac{I(A) \cdot C_0}{K(A, a) \cdot \log_2 n}$$

- ❖ Згідно з першою теоремою Шеннона при будь-якому способі кодування

$$K(A, a) \geq \frac{I(A)}{\log_2 n},$$

- ❖ хоча може бути як завгодно близькою до цього значення. Отже, завжди $J \leq C_0$, тобто швидкість передачі інформації по каналу зв'язку не може перевищити його пропускну здатність.
- ❖ Як показано в теорії Шеннона, дане твердження справедливо як при відсутності в каналі перешкод (шумів) (ідеальний канал зв'язку), так і при їх наявності (реальний канал зв'язку).

Смуги частот *TV*-каналів

№№	Частоти, МГц	<i>TV</i> -канали
I	48,5...66	1,2
II	76...100	3...5
III	174...230	6...12
IV	470...582	21...34
V	582...960	35...80

Таблиця 1.3. Смуги частот *TV*-каналів

У табл. 1.7 наведено смуги телевізійних сигналів деяких каналів. Перші три смуги розташовано у діапазоні метрових хвиль, останні дві – у діапазоні дециметрових хвиль. У метровому діапазоні від 48,5 до 230 МГц розташовано телевізійні канали від № 1 до № 12, у четвертій смузі (470...582) МГц від № 21 до № 34, у п'ятій смузі (582...950) МГц від № 35 до № 80.

Структура частотної смуги телевізійного сигналу

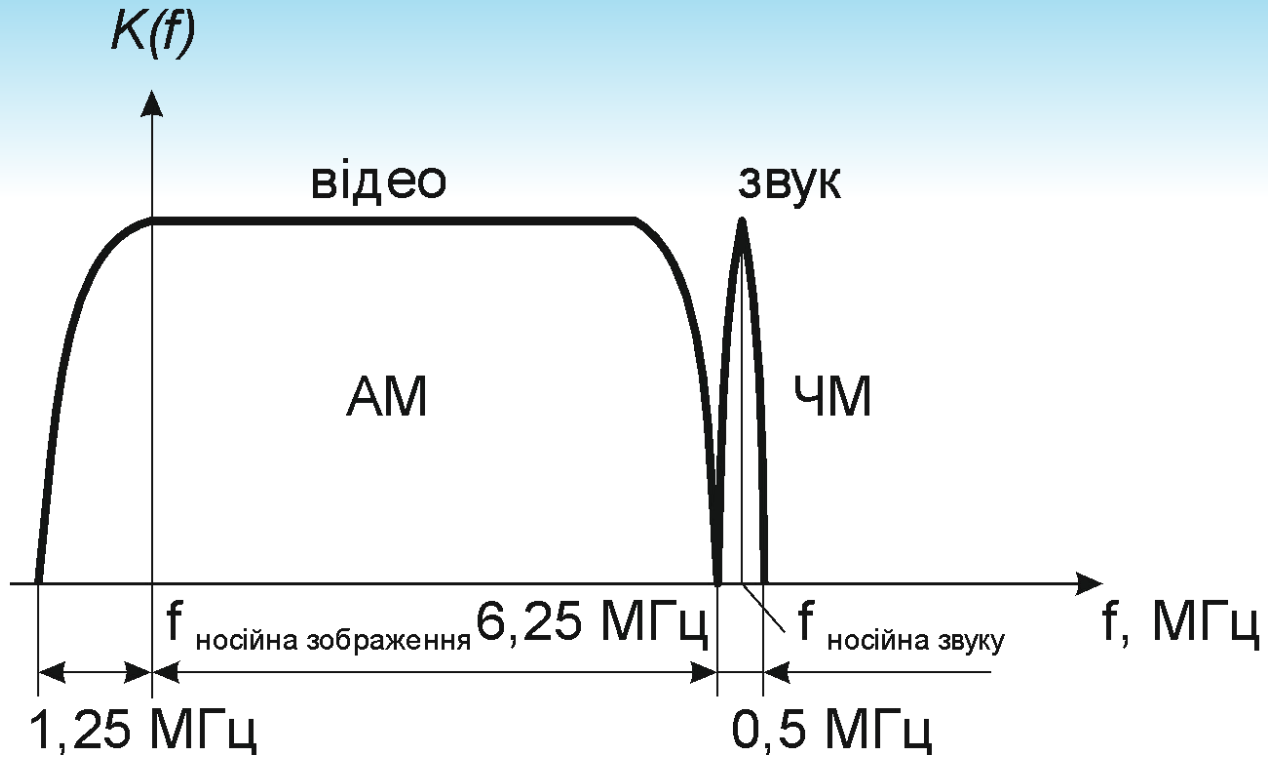


Рисунок 1.9. Структура частотної смуги телевізійного сигналу

Розташування смуг частот 1-ого та 23-ого телевізійних каналів

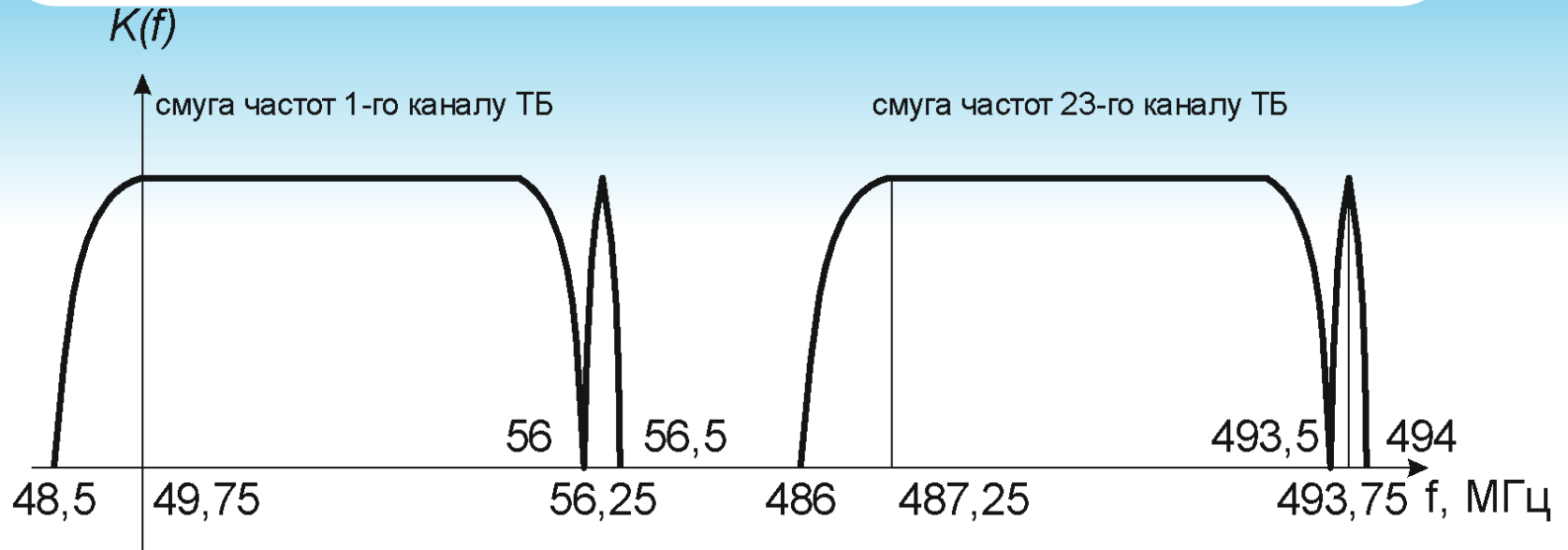


Рисунок 1.10. Розташування смуг частот 1-ого та 23-ого телевізійних каналів

На рис. 1.10 наведено розташування на осі частот смуг першого та двадцять третього телевізійних каналів. Таким чином з'ясовано необхідність вивчення електродинаміки, як науки, щодо *електромагнітного поля – носія інформації* (на прикладі телевізійного сигналу).

1.5. Висновки

1. Змістом електродинаміки є поняття та закони *формування, розподілення і поширення електромагнітних полів (хвиль)*.
2. Електромагнітне поле – особливий вид матерії, яку визначають векторними величинами, що характеризують *змінні у часі* електричне та магнітне поля, та є *носієм інформації*
3. *Окремо* електричне та магнітне поля існують у *статичному режимі*, якщо їх джерела – *заряди є нерухомими й незмінними у часі, а струм – постійний*.
4. В електродинаміці розв'язують задачі:
 - *пряму* – за параметрами *джерела* визначають параметри *поля*;
 - *зворотну* – за параметрами *поля* визначають параметри *джерела*.
5. Основою електродинаміки є *система рівнянь*, узагальнених Максвеллом, на підставі *експериментально отриманих законів та положень* електромагнетизму, які сформульовано протягом достатньо великого терміну.
6. На *формування та поширення* електромагнітних полів суттєво впливають властивості та параметри *середовища*. Електродинамічними параметрами середовища є *діелектрична проникність*, *магнітна проникність*, *питома провідність*; у вільному просторі (вакуумі), їх значення: .
7. Функції електродинаміки пов'язано із використанням *різних діапазонів частот*: від нульового до оптичних, але найчастіше з діапазонами ВЧ, ДВЧ, НВЧ, які застосовано в сучасних системах зв'язку. Частоти радіохвиль охоплюють *12 діапазонів* в межах від 3 Гц до 3 ТГц.
8. Передавання будь-якого сигналу вимагає відповідної *смуги частот*, значення якої визначають тип сигналу та вид модуляції.
9. Смугу частот аналогового телевізійного сигналу формують складники 1,25 МГц (залишок нижньої бічної) + 6,25 МГц (відеосигнал)
+ 0,5 МГц (аудіосигнал)
= 8 МГц.

1.6. Контрольні питання та завдання

1. Наведіть та поясніть сутність моделей радіоканалу та радіолінії.
2. Наведіть визначення понять: «радіоканал», «радіолінія», «модуляція», «носійна частота», «діапазон радіохвиль» та ін. за Національним стандартом України ДСТУ 3254,
3. Наведіть галузі застосування радіохвиль у радіозв'язку.
4. Поясніть сутність та взаємозв'язок електричного, магнітного та електромагнітного полів.
5. Визначте масу електромагнітного поля за відомими параметрами джерел.
6. Охарактеризуйте основні дескриптори електромагнітного поля та взаємозв'язок між ними.
7. Визначте частоту сигналу, якщо відома довжина хвилі та навпаки.
8. Доведіть, що електрична сила взаємодії двох електронів значно більша, ніж гравітаційна.
9. Визначте швидкість поширення радіохвиль у вільному просторі та будь-якому середовищі.
10. Наведіть основні дати розвитку науки та практичного застосування електромагнетизму, стосовно телекомунікації.
11. Охарактеризуйте та наведіть приклади скалярних величин.
12. Охарактеризуйте та наведіть приклади векторних величин.
13. Визначте, за яким принципом радіохвилі поділяють за діапазонами.
14. Назвіть основні сфери застосування різних діапазонів радіохвиль.
15. Наведіть спрощену структурну схему відеозв'язку.
16. Обґрунтуйте значення смуги частот телевізійного сигналу.
17. Визначте смугу частот деякого телевізійного каналу (за Вашим вибором).