**Лекція 1**

**Основні поняття та визначення в області напрямних систем (НС)**

1. **Історія розвитку напрямних систем.**
2. **Порівняння НС та радіоліній.**
3. **Основні типи ліній зв’язку (ЛЗ).**
4. **Основні класи НС та їх базові конструкції.**
5. **Частотний діапазон НС, які використовують при побудові мереж.**
6. **Конструктивне застосування ліній зв’язку.**
7. **Аналогові та цифрові системи передачі інформації.**
8. **Структура мережі зв’язку.**
9. **Історія розвитку напрямних систем.**

Наукові твердження в цій області склались відносно недавно. В 1784-89 роках були опубліковані роботи Шарля Кулона про електричні і магнітні взаємодії. Він відкрив свій відомий закон Кулона, математично дуже схожий на закон земного тяжіння.

 Пізніше, в 20-х роках XIX століття Андре-Мари Ампер досліджував взаємодію електричних струмів, провідників та магнітів. Він сформулював кілька законів про взаємодію електричних струмів, зокрема, відомий закон Ампера про циркуляцію магнітного поля (1822 рік), який далі ми будемо називати законом повного струму.

 Ці вчені вважали, що дія зарядів і токів проходить дуже швидко (діє принцип дальнодії), тобто миттєво на відстані. З іменем Майкла Фарадея (його великі досягнення були зроблені в 30-ті роки XIX століття) пов’язана ідея принципу близькодії. Згідно його, взаємодії відбуваються в вакуумі, в якому вміщуються електромагнітні процеси.

В 1831 році Фарадей відкрив свій закон електромагнітної індукції, сконструював потужний електромагніт (піднімав 1 тону). Великий вклад в науку вніс Джеймс Клерк Максвел. Він в 1873 році опублікував фундаментальний "Трактат про електрику та магнетизм". В сучасній фізиці рівняння Максвелла з цього трактату являються фундаментом теорії електромагнетизму.

 **Максвел в своїх рівняннях** зв'язав вектори електричного та магнітного поля, заряди та струми, зробив теоретичній висновок про існування електромагнітних хвиль, висунув гіпотезу про електромагнітну природу світла. Максвел поєднав та узагальнив раніш відомі закони про електрику та магнетизм.

 Рівняння Максвела неможливо вивести із інших законів, це узагальнення експериментальних законів природи. Після появи рівнянь Максвела постало питання про електромагнітні хвилі (ЕМХ). Вперше експериментально в лабораторії існування ЕМХ було зроблено Генріхом Герцом в кінці XIX століття.

**Герц** винайшов багато із того, що зараз називається **радіотехнічною електродинамікою: параболічні дзеркала, випромінювачі, вібратор Герца.** Проте він вважав, що ЕМХ не мають практичної користі. В кінці 19 – на початку 20 століття працею багатьох вчених було винайдено радіо.

**Герц** зробив передавач та параболічну антену, **Попов** – приймач, **Марконі** об'єднав ці винаходи та запатентував їх, **Лодж** зробив чутливий приймач (когерер), **Тесла** винайшов щоглову антену. Всі ці винаходи було зроблено в 90-ті роки XIX століття. Вже в нульові роки XX століття почали використовувати перші серійні приймачі, спочатку у військових цілях.

 В ХХ-му столітті теорія та практика застосування електромагнітних хвиль розвивалась дуже швидко. Збільшувалась частота електричних сигналів. Довжина хвиль, що використовуються в радіотехніці, виміряються від довгих (кілометри), метрових та дециметрових (телебачення, мобільний зв'язок), сантиметрових і міліметрових (радіолокація, космічний зв’язок, радіорелейні лінії) і до мікрометрових (в оптиці). При цьому розміри елементів стали порівнянними або більше за довжину хвилі.

 Чому ми вимушені вивчати окремо технічну електродинаміку? Чому не можна обмежитись застосуванням таких відомих законів радіотехніки, як закони Ома та Кірхгофа? Зробимо уявний експеримент. Будемо пропускати струм по провіднику. Помітимо два перерізу, відстань між якими дорівнює половині довжини хвилі. Це значить, що фаза струму в цих перерізах провідника (лінії передачі) не однакова, і струми навіть будуть протифазними.

Зрозуміло, що просте застосування закону Ома для розрахунку напруги на кінцях провідника приведе до неправильних результатів. Як показує практика, при цьому провідник ще й починає випромінювати енергію в простір, він працює як антена. Пояснити це явище за допомогою законів Ома та Кірхгофа неможливо.

В діапазоні НВЧ замість коливальних контурів використовуються об’ємні резонатори, замість двох провідної лінії - хвилеводи різних конструкцій або оптичний діелектричний світловод. Для розуміння принципів їх роботи, свідомого застосування та конструювання потрібне знання теорії електромагнетизму, яка побудована на основі рівнянь Максвелла.

**История развития НС**. ЛС возникли одновременно с появлением электрического телеграфа. Первые ЛС были кабельными. Однако вследствие несовершенства конструкции кабелей подземные кабельные ЛС вскоре уступили место воздушным(ВЛ). 1–я ВЛ была построена в 1854 г. между Петербургом и Варшавой. В 1866 г. вступила в строй кабельная трансатлантическая магистраль телеграфной связи между Францией и США. В 1901 г. началась постройка подземной городской телефонной сети.

В 1900 - 1902 гг. была сделана успешная попытка повысить дальность передачи методами искусственного увеличения индуктивности кабелей путем включения в цепь катушек индуктивности (предложение Пупина), а также применения токопроводящих жил с ферромагнитной обмоткой (предложение Крарупа). Такие способы на том этапе позволили увеличить дальность телеграфной и телефонной связи в несколько раз.

В 1917 г. был разработан и испытан на линии телефонный усилитель на электронных лампах. В 30-х годах началось развитие многоканальных систем передачи. В последующем **стремление расширить спектр передаваемых частот** и увеличить пропускную способность линий привело к созданию новых типов **кабелей, так называемых коаксиальных.**

Первая коаксиальная линия на 240 каналов ВЧ телефонирования была проложена в 1936 г. По первым трансатлантическим подводным кабелям, проложенным в 1856 г., организовывали лишь телеграфную связь, и только в 1956 г., была сооружена подводная **коаксиальная магистраль между Европой и Америкой для многоканальной телефонной связи.**

**Создание волоконного световода и получение непрерывной генерации полупроводникового лазера сыграли решающую роль в быстром развитии волоконно-оптической связи.** К началу 80-х годов были разработаны и испытаны в реальных условиях ВОЛС. Основные сферы применения таких систем - телефонная сеть, кабельное телевидение, внутриобъектовая связь, вычислительная техника, система контроля и управления технологическими процессами и т. д.

**Напрямна система (НС)** – це фізичний пристрій або система пристроїв, який використовується для передачі електромагнітної енергії в заданому напрямку. Такі направляючі властивості мають провідник струму, діелектрик і люба границя розділу середовищ з різними електричними властивостями(метал-діелектрик, метал-повітря, діелектрик-повітря, діелектрик-діелектрик).

Напрямні системи класифікують у першу чергу, по довжинах хвиль і частотному діапазону їх використання. Відповідно, чим більш високий діапазон частот можна передати по направляючій системі, тим більше можна утворити каналів зв’язку і зменшити економічні затрати.

**2. Порівняння НС і радіоліній.**

Различают два основных типа ЛС: линии в атмосфере (радиолинии РЛ) и направляющие линии передачи (линии связи). Отличительной особенностью радиолинийявляется распространение электромагнитных сигналов в свободном (естественном) пространстве (космос, воздух, земля, вода и т. д.).

 Дальность РЛ может простираться до сотен миллионов километров. **Отличительной особенностью** направляющих линий связиявляется то, что распространение сигналов в них от одного абонента (станции, устройства, элемента схемы и т. д.) к другому осуществляется только по специально созданным цепям и трактам ЛС, образующим направляющие системы, предназначенные для передачи электромагнитных сигналов в заданном направлении с должными качеством и надежностью.

Кроме указанных выше достоинств радиолиний, определяемых возможностью установления связи на огромные расстояния с подвижными объектами, отметим еще высокую скорость установления связи, а также возможность обеспечения передачи массовым средствам информации (радиовещание и телевидение) с неограниченным числом слушателей и зрителей.

Основными недостатками РЛ (радиосвязи) являются:

- зависимость качества связи от состояния, среды передачи и сторонних электромагнитных полей; низкая скорость;

- недостаточно высокая электромагнитная совместимость в диапазоне метровых волн и выше;

- сложность аппаратуры передатчика и приемника;

- узкополосность систем передачи, особенно на длинных волнах и выше (отношение *ΔF/fH ≤.(0,1...*0,6), где *ΔF* — ширина полосы частот информационного сигнала;

- *fH* — несущая частота радиосигнала).

**Различают** следующие типовые диапазоны длин волн и радиочастот:

* сверхдлинные волны (СДВ) 100... 10 км (3...30 кГц);
* длинные волны (ДВ) 10... 1 км (30.. .300 кГц);
* средние волны (СВ) 1,0... 0,1 км (0,3... 3 МГц);
* короткие волны (KB) 100... 10 м (3...30 МГц);
* ультракороткие волны (УКВ) 10... 1 м (30... 300 МГц);
* дециметровые волны (ДЦМ) 1 ... 0,1 м (300 .. 3000МГц);
* сантиметровые волны (СМ) 10... 1 см (3...30 ГГц);
* миллиметровые волны (ММ) 10... 1 мм (30... 300 ГГц);
* оптический диапазон 10...0,1 мкм (3-1013...3-10l5 Гц).
1. **Основні типи ліній зв’язку (ЛЗ).**

**Различают три основных типа ЛС**: кабельные (КЛ), воздушные (ВЛ), волоконно-оптические (ВОЛС). Кабельные и воздушные линии относятся к проводным линиям, у которых направляющие системы образуются системами «проводник-диэлектрик», а волоконно-оптические линии представляют собой диэлектрические волноводы, направляющая система которых состоит из диэлектриков с различными показателями преломления.

**Проводные линии**связи работают в килогерцовом и мегагерцовом диапазонах частот. Кабельные линии обеспечивают надежную и помехозащищенную многоканальную связь на требуемые расстояния. Коаксиальные и симметричные кабели получили доминирующее развитие при организации городской и междугородной связи.

**Воздушные линии** широко использовались в 30—40-х годах. Однако низкая пропускная способность (12 каналов ТЧ), обусловленная недостаточной помехозащищенностью от взаимных помех, и подверженность атмосферно-климатическим воздействиям ограничивают их использование на зоновой и сельской сети связи.

**Волоконно-оптические линии** связипредставляют собой системы для передачи световых сигналов микроволнового диапазона волн (*λ*=0,8 ... 1,6 мкм) по оптическим кабелям. Этот вид линий связи рассматривается как наиболее перспективный. Достоинствами ВОЛС являются низкие потери, большая пропускная способность, малые масса и габаритные размеры, экономия цветных металлов, высокая степень защищенности от внешних и взаимных помех.

**4. Основні класи НС та їх базові конструкції.**

Направляющие системы передачи высокочастотной энергии разделяются на:

- воздушные линии связи (ВЛС);

- симметричные кабели (СК);

- коаксиальные кабели (КК);

- сверхпроводящие кабели (СПК);

- волноводы (В);

- световоды (С);

- оптические кабели (ОК);

- линии поверхностной волны (ЛПВ);

- диэлектрические волноводы (ДВ);

- ленточные кабели (ЛК) (полосковые линии ПЛ);

- радиочастотные кабели (РК).

Конструкции различных направляющих систем схематично показаны на рис. 1.



Р

Рисунок 1 – Конструкції направляючих систем: а) симметричная цепь; б) коаксиальный кабель; в) сверхпроводящий кабель; г) волноводы; д)линия поверхностной волны; е) диэлектрические волноводы; ж) ленточный кабель; з) полосковая линия; и) световоды (линзовый, волоконный)

Воздушные линии и симметричные кабели относятся к группе **симметричных цепей (а).** У них наличие 2 проводника с одинаковыми конструктивными и электрическими свойствами. В **коаксиальном кабеле (б)** проводник а, концентрически расположен внутри проводника б,имеющего форму полого цилиндра.

 Внутренний проводник изолируется от внешнего с помощью различных изоляционных прокладок (шайбы, баллоны, кордели и др.). **Сверхпроводящий кабель (в)**имеет коаксиальную конструкцию весьма малых габаритных размеров, помещенную в условия низких отрицательных температур (-269° С).

**Волновод (г)** представляет собой полую металлическую трубу круглого или прямоугольного сечения, изготовленную из хорошо проводящего материала. **Линия поверхностной волны (д*)***представляет собой одиночный металлический провод, покрытый высокочастотной изоляцией (полиэтиленом).

**Диэлектрический волновод** (е) *-* это стержень круглого или прямоугольного сечения, выполненный из высокочастотного материала (полиэтилена, стирофлекса). **Полосковая линия (ж)**состоит из плоских ленточных проводников с расположенной между ними изоляцией. **Ленточный кабель (з)** содержащит большое число проводников, расположенных в одной плоскости.

**Оптический кабель (и)**представляет собой скрутку из оптических волокон - световодов, объединенных в единую конструкцию. Радиочастотные кабели (РК) имеют коаксиальную, симметричную или спиральную конструкцию.

|  |  |
| --- | --- |
| НС | Частота, Гц |
| ВЛС | 10е5 |
| СК | 10е6 |
| ККдля магистральной связидля уст–в антенно–фидерных трактов | 10е810е9 |
| Волоновод | 10е(10–11) |
| ОК | 10е(14–15) |

**5. Частотний діапазон НС, який використовують при побудові мереж.**

ВЛ используются в диапазоне до 105 Гц, симметричные кабели - до 106 Гц, а коаксиальные кабели - до 108 Гц для магистральной связи и до 109 Гц для устройств антенно-фидерных трактов.

Сверхпроводящие кабели имеют преимущественно коаксиальную конструкцию и предназначены для использования в частотном диапазоне коаксиальных систем (до 109 Гц).

**Волноводы междугородной связи** предназначены для работы на частотах до 1011 Гц (миллиметровые волны), а световоды используют частоты 1014 Гц (оптический диапазон волн 0,85...1,55 мкм).

 Осваиваются также волны 2... 6 мкм. Радиолинии используют диапазон длинных, средних и коротких волн. Радиорелейные линии связи работают на волнах прямой видимости в дециметровом (0,3 ... 3 ГГц) и сантиметровом (3... 30 ГГц) диапазонах.

Естественно, что чем более высокий диапазон частот можно передать по НС, тем больше можно образовать каналов связи и экономичнее передача.

**6. Конструктивне застосування ліній зв’язку.**

Конструктивно лінії передачі інформації, які застосовуються в міжнародних, міжміських мережах поділяються на наступні типи: кабельні коаксіальні, кабельні симетричні, волоконно-оптичні, радіорелейні, повітряні і лінії супутникового зв’язку.

 Основними типами ліній первинної міжміської мережі є кабельні і радіорелейні, а внутрішньо зонових мереж – кабельні і повітряні. По призначенню кабельні лінії первинної мережі поділяються на:

* **магістральні кабельні лінії зв’язку** (МКЛЗ), які прокладаються між мережевими вузлами зв’язку (МУЗ);
* **внутрішньозонові кабельні лінії зв’язку** (ВКЛЗ), які прокладаються між міжрайонними мережевими вузлами;
* **місцеві кабельні лінії**, які прокладаються між мережевими міськими (МКЛЗ) і сільськими (СКЛЗ) кабельними лініями зв’язку, які прокладаються всередині міста і сільських районів.

За умовами прокладання **кабельні лінії поділяються** на підземні, які прокладаються у грунт, кабельній каналізації, колекторах, тунелях метрополітену, підводні (річки, великі водоймища, моря і океани) і підвісні на опорах в повітрі.

**Кабельні лінії** (робочий частотний діапазон (від 1 кГц до 500 МГц) забезпечують надійний і захищений від посторонніх впливів багатоканальний зв’язок на задану відстань. На даний час коаксіальні і симетричні кабелі зайняли домінуючі позиції при організації міського і міжміського зв’язку.

 **Оптиковолоконні лінії** (ОЛ) створюють системи для передачі світлових сигналів мікрохвильового діапазону (λ = 0,7 …1,7 мкм) по оптичним кабелям на великі відстані. Перевагами ОЛ є низькі втрати сигналів по довжині кабелю, велика пропускна спроможність, мала вага і розміри кабелів, економія кольорових металів, висока захищеність від зовнішніх і взаємних впливів.

**7. Аналогові та цифрові системи передачі інформації.**

**На лініях передачі інформації** реалізовані аналогові (АСП) і цифрові (ЦСП) системи передачі інформації. **Аналогові системи** засновані на частотному розподілу сигналів. За допомогою електричних фільтрів весь спектр інформації ділиться на частотні полоси (канали).

В якості базового прийнятий телефонний канал шириною 4 кГц – канал тональної частоти (ТЧ). Чим ширша полоса частот, яку можна передавати по лінії зв’язку, тим більше можна отримати каналів і зменшити їх вартість.

**Цифрові системи** передачі інформації базуються на часовому розділенні каналів, тобто передача по лінії сигналів різних повідомлень здійснюється почергово – зі зміщенням інтервалу часу.

 В цьому випадку по лінії передачі поширюються імпульси певної послідовності і протяжності, які утворюють цифрові сигнали. Для цього всі види інформації (телефонну, радіомовлення, телебачення і інші) попередньо кодують.

 В сучасних ЦСП найбільше поширення отримала імпульсно-кодова модуляція (ІКМ) з імпульсами мікросекундної і наносекундної протяжності.

**Перевагами ЦСП є:**

* велика відстань зв’язку;
* зменшені вимоги до захисту передачі сигналів і їх взаємного впливу;
* можливість створення єдиної інтегральної системи зв’язку;
* можливість безпосереднього вводу і швидкісної обробки імпульсної інформації за допомогою ПК (персональних комп’ютерів), автоматизація передачі даних.

**Недоліком** цієї системи передачі інформації є розширення полоси частот до 64 кГц на телефонний канал при встановленому стандарті в 4 кГц.

В загальному вигляді вимоги, які висуваються до магістральних і міжміських ліній передачі інформації (мереж), можна сформулювати таким чином:

- здійснення зв’язку на практично необхідні відстані до 1000 км всередині країни і до 25000 кілометрів для міжнародного зв’язку;

- широкополосність і здатність до передачі різних видів сучасної інформації (телебачення, телефонія, передача службової інформації, радіопередачі, передача шпальт газет і т.д.);

- захищеність ліній від взаємних і зовнішніх впливів, а також – від грози і корозії;

- стабільність електричних параметрів лінії, стійкість і надійність зв’язку;

- економічність розвитку і експлуатації ліній передачі у цілому.

**8. Структура мережі зв’язку.**

Мережа зв’язку включає:

- систему передачі інформації (лінії передачі і відповідна апаратура);

- пристрої (системи) комутації;

- кінцеві пристрої.



Рисунок 2 – Загальний вигляд мережі зв’язку

**Література для підготовки до лекційних занять:**

1. Закон України «Про телекомунікації», прийнятий ВР України в 2003 р.
2. С. К. Абрамов. Лінії передачі: Навчальний посібник.- Х: В-цтво ХАІ, 2009. – 70 с.
3. И.И. Гроднев, С. М. Верник. Линии связи. Учебник для вузов. – М.: Радио и связь.1988.- 344 с.
4. И.И. Гроднев, В. О. Шварцман. Теория направляючих систем святи. – М.: Связь, 1978. – 296 с.
5. Коаксиальные и высокочастотные симметричные кабели связи: Справочник / Воронцов А.С.,Маркелов А.П. и др. – М.: Радио и связь, 1994. – 312 с.
6. И.И. Гроднев . Волоконно-оптические линии связи: Учебное пособие для вузов. - . – М.: Радио и связь, 1990. – 224 с.
7. В.Б. Каток. Волоконно-оптичні системи зв’язку: Книга.- К.: ВЕЛАР, 1990. – 498 с.