

Електродинаміка та техніка НВЧ

Класифікація напрямних систем

Класифікація напрямних систем

Напрямна система (хвилевід, лінія передачі (ЛП)) – сукупність тіл, які здійснюють передачу електромагнітної енергії у певному напрямі без випромінювання у навколишнє середовище.

Уздовж напрямних систем поширюються спрямовувані електромагнітні хвилі.

ЛП регулярна, якщо її властивості уздовж напрямку поширення незмінні (*поздовжньо-однорідна ЛП*), або змінюються за періодичним законом (*періодична ЛП*).

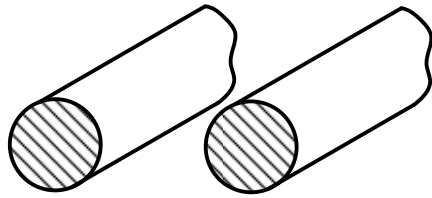
Якщо властивості ЛП уздовж напрямку поширення змінюються за довільним законом, її вважають **нерегулярною** (*поздовжньо-неоднорідною*).

Якщо електромагнітне поле ЛП необмежене у поперечному напрямі, то її називають **відкритою**. У **закритих ЛП** ЕМП існує лише всередині замкненої металевої оболонки.

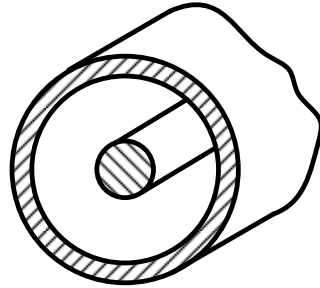
ЛП поперечно-однорідна, суть однорідна, якщо її властивості незмінні у поперечному перерізі, інакше **неоднорідна**.

За матеріалом тіл, які утворюють ЛП, їх поділяють на **металеві, діелектричні та металодіелектричні**.

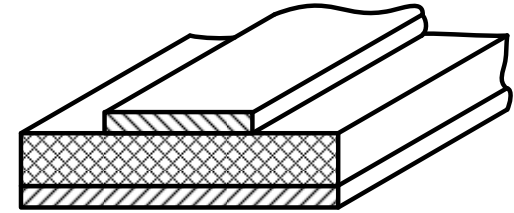
Класифікація напрямних систем



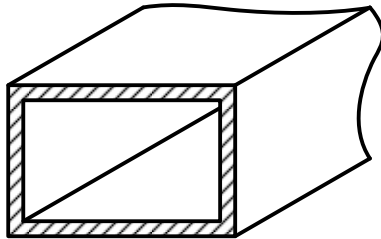
Двопровідна лінія



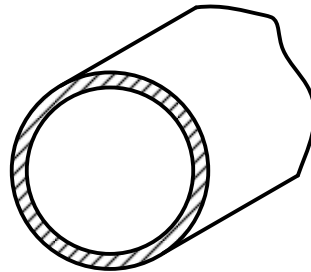
Коаксіальна лінія



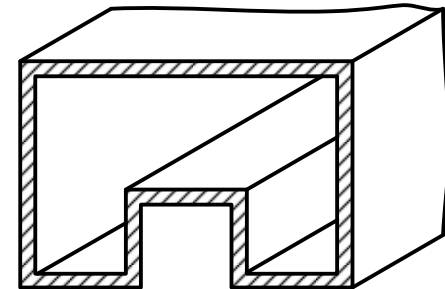
Мікросмужкова лінія



Прямокутний хвилевід



Круглий хвилевід



П-подібний хвилевід

Приклади ліній передач

Класифікація напрямних систем

Властивості ЛП істотно залежать від зв'язності її поперечного перерізу. Якщо будь-який контур, розташований у цьому перерізі, можна стягнути у точку, не перетинаючи межу розподілу діелектрик-метал, то ЛП називають **однозв'язною**. У протилежному випадку ЛП **багатозв'язна**, причому ступінь зв'язності відповідає кількості різних типів контурів, які можна виділити у її поперечному перерізі.

Приклади.

Коаксіальний хвилевід – закрита, металева, двозв'язна ЛП.

Мікросмужкова ЛП – відкрита, двозв'язна, метало-діелектрична ЛП.

Прямокутний хвилевід – закрита, однозв'язна, металева ЛП.

Двопровідна ЛП – відкрита, металева, двозв'язна ЛП.

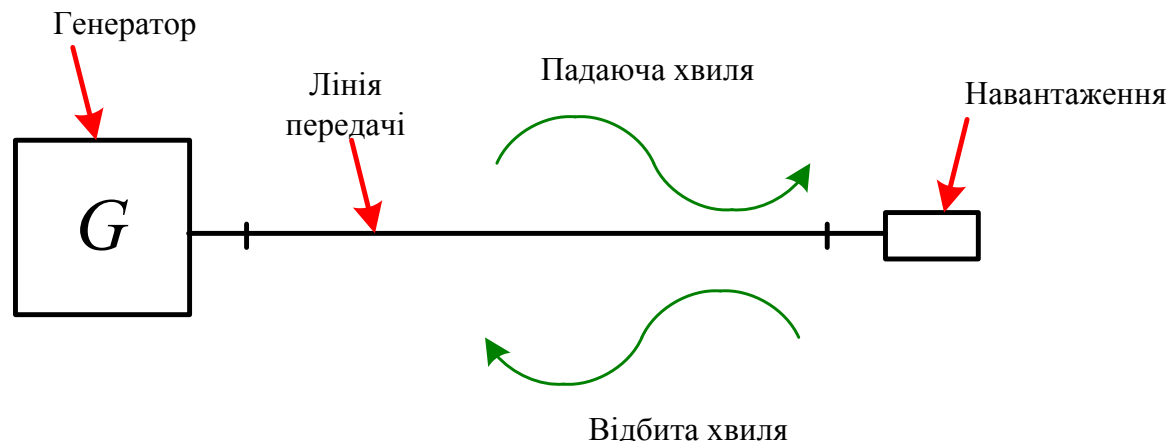
Класифікація напрямних систем

Неоднорідність – елемент, який перетворює регулярну ЛП у нерегулярну.

У межах регулярних ЛП електромагнітне поле біжучої хвилі будь-якого типу можна представити як суперпозицію (тобто накладання) двох хвиль – падаючої та біжучої.

Під **падаючою хвилею** розуміють біжучу (тобто ту, яка поширюється лише в одному напрямі) хвилю, створювану генератором, *яка рухається від вибраного початкового перерізу уздовж напрямку поширення.*

Відбитою називають біжучу хвилю в ЛП, яка створюється неоднорідністю або навантаженням, і *яка поширюється у напрямі, протилежному до падаючої хвилі.*



Класифікація напрямних систем

До основних параметрів і характеристик ЛП відносять:

1) **Тип хвилі (за структурою поля), структура ЕМП, критична частота.**

За структурою поля спрямовувані хвилі поділяють на поперечні, електричні, магнітні та гібридні.

Поперечна хвиля (ТЕМ-хвиля, Т-хвиля, від англ. transvers - поперечний) – хвиля, у якої вектори E та H перпендикулярні до напрямку поширення хвилі, тобто не мають поздовжніх компонент векторів поля.

Електрична хвиля (Е-хвиля, ТМ-хвиля, поперечна магнітна хвиля) – хвиля, у якої вектор E має як поздовжню, так і поперечну складові, а поздовжня складова вектора H дорівнює нулю.

Магнітна хвиля (Н-хвиля, ТЕ-хвиля, поперечна електрична хвиля) – хвиля, у якої вектор H має як поздовжню, так і поперечну складові, а поздовжня складова вектора E дорівнює нулю.

Гібридна хвиля (змішана хвиля, НЕ (ЕН)-хвиля) – хвиля, у якої і вектор E , і вектор H разом з поперечними складовими, мають і поздовжні складові.

2) **Дисперсійна характеристика.**

Класифікація напрямних систем

3) **Режим роботи (одно- чи багатомодовий).**

Від англ. mode – тип хвилі. У ЛП в загальному випадку може існувати нескінченна кількість типів хвиль (мод). Якщо ЛП працює на одному типі хвилі (моді) – це одномодовий режим, інакше – багатомодовий. На практиці найпоширенішим режимом є одномодовий.

4) **Коефіцієнт згасання α .**

Поширення хвилі у реальній ЛП супроводжується зменшенням потужності, яку вона переносить. Причинами цього є: а) розсіювання частини потужності у металевих провідниках ЛП α_M , б) згасання хвилі у діелектрику, який заповнює ЛП α_D , в) випромінювання частини потужності у навколишнє середовище (характерно для відкритих ЛП) α_Σ .

У загальному випадку

$$\alpha = \alpha_M + \alpha_D + \alpha_\Sigma.$$

У ЛП закритого типу $\alpha_\Sigma = 0$. При конструюванні ЛП відкритого типу стараються якомога зменшити випромінювання енергії з лінії у навколишній простір. Тому у реальних ЛП

$$\alpha_\Sigma \ll \alpha_M, \alpha_\Sigma \ll \alpha_D, \text{ а } \alpha_\Sigma \text{ можна знехтувати.}$$

Класифікація напрямних систем

5) Потужність, що передається.

$$P = \frac{1}{2} \operatorname{Re} \int_{S_{\perp}} \left[\dot{\vec{E}}_m, \dot{\vec{H}}_m^* \right] d\vec{s},$$

S_{\perp} - поперечний переріз ЛП.

Значення цієї потужності пропорційне до квадрату максимального значення напруженості електричного полі у ЛП. Тобто чим більша ця потужність, тим більше максимальне значення напруженості електричного поля. Тому при збільшенні передаваної потужності у ЛП може виникнути електричний розряд, тобто відбудеться **електричний пробій** повітря чи діелектричного заповнення ЛП. Густина струму провідності у розрядному проміжку досягає відносно великих значень (15 А/м^2 і більше), що спричиняє інтенсивне виділення тепла та різке підвищення температури у місці пробою. Крім цього, активний опір розрядного проміжку в силу великої щільності електронів у ньому (до 10^{15} електрон/см³) малий, і пробій спричиняє майже повністю коротке замикання ЛП у перерізі, де відбувається розряд.

Класифікація напрямних систем

Надходження потужності до навантаження при цьому практично припиняється, оскільки більша частина енергії падаючої хвилі відбивається від місця, де стався пробій. Це може вивести з ладу генератор чи спричинити інші небажані ефекти.

Збільшення рівня передаваної потужності по реальній ЛП спричиняє збільшення потужності втрат у металевих елементах ЛП та діелектрику, який її заповнює, що супроводжується нагріванням останнього. Якщо при цьому нагріванні температура будь-якого матеріалу, з якого виготовлено лінію, досягає деякого граничного значення, відбувається його руйнування (наприклад, розплавлення діелектрика) та має місце так званий **тепловий пробій**. Тому максимальне значення передаваної по ЛП потужності обмежено як електричним, так і тепловим пробоем.

Допустима потужність у ЛП:

$$P_{\text{доп}} = (0,2 \dots 0,3) P_{\text{max}},$$

P_{max} - гранична (максимальна) потужність (у режимі біжучої хвилі).

Максимальною називають потужність, за якої виникає чи електричний, чи тепловий пробій у ЛП.

Класифікація напрямних систем

У ЛП з повітряним заповненням, які працюють в імпульсному режимі з великою шпаруватістю, небезпечнішим є електричний пробій. У ЛП з діелектричним заповненням, відмінним від повітря, а також якщо по лінії передають велику потужність у неперервному режимі, небезпечнішим є тепловий пробій.

За потреби передачі по лінії великих потужностей уникають використання ліній з діелектричними вставками чи з твердим діелектричним заповненням, а використовують повітряне заповнення чи заповнення спеціальними газами (елегаз) чи рідкими діелектриками (нонан, гексан, гептан), у яких гранична напруженість електричного поля перевищує 100 кВ/см (для повітря, за нормального атмосферного тиску 30 кВ/см). З цією ж метою ЛП наповнюють повітрям чи іншим газом під тиском, більшим за атмосферний. Також можуть суттєво зменшити тиск газу у ЛП, що дає аналогічний результат.

Для збільшення максимальної потужності, пов'язаної з тепловим пробоем у лінії з діелектричним заповненням, використовують діелектрики з більшою граничною температурою, наприклад, різні види кераміки.

Класифікація напрямних систем

ЛП повинні задовольняти ряду вимог, основні з яких такі:

- малий коефіцієнт затухання, який забезпечує високий ККД ЛП, чи достатній рівень сигналу для якісного прийому на кінці ділянки лінії зв'язку;
- забезпечення заданої передаваної потужності, що характерно для потужних фідерів. При цьому не повинен виникати електричний пробій та температурне перегрівання системи;
- економічна доцільність, яка визначається помірними поперечними розмірами, малою вагою, доступними матеріалами, простотою конструкції та технології виробництва тощо.

Фідери використовують для передачі електромагнітної енергії між блоками апаратури, які розташовані порівняно не великій відстані – всередині приймача чи передавача, між антеною передавача чи приймача. **Лінії зв'язку** використовують для передачі електромагнітних сигналів на значні відстані – між населеними пунктами, країнами.

Універсальних ЛП, які задовольняють усім вимогам на всіх частотах просто не існує.

Основне протиріччя у тому, що коефіцієнт затухання ЛП у більшій частині збільшується з частотою.

Класифікація напрямних систем

