

Тема 3

Антенні та фідерні пристрої ЗРЛ.

Заняття №1 Загальні відомості і принцип дії фідерних пристроїв.

Питання заняття

1. Призначення та характеристики ліній передачі.
2. Основні різновиди фідерних трактів.
3. Основні елементи фідерних трактів.

Призначення та характеристики ліній передачі

Фідером або *лінією передачі* називається пристрій призначений для передачі енергії електромагнітних хвиль в певному напрямі.

В ЗРЛ фідерні тракти використовуються для передачі зондувальних сигналів від передавача до антени і приймальних сигналів від антени до приймача.

Лінія передачі називається **довгою**, якщо її довжина сумірна з довжиною хвилі генератора, або перевищує її. (В ЗРЛ, виходячи з вище сказаного, лінії передачі є довгими). (Для промислової мережі $f=50$ (Гц), $\lambda=6000$ (км)).

Лінія передачі називається **регулярною**, якщо в поздовжньому напрямку не змінюється її поперечний переріз і електромагнітні властивості середовища, що її заповнюють.

Лінія передачі називається **однорідною**, якщо поперечний переріз заповнено однорідним середовищем.

Лінії передачі можуть бути:

відкритими - неекрановані дротові лінії, діелектричні хвилеводи, лінзові і дзеркальні квазіоптичні лінії;

закритими - екрановані лінії (наприклад, радіочастотні кабелі, симетричні смугові лінії) і металеві радіохвилеводи.

Преваги закритих фідерів — незалежність поля хвилі, що передається від зовнішніх впливів.

Конструкція фідера визначається частотою джерела. Зазвичай використовуються наступні розділення:

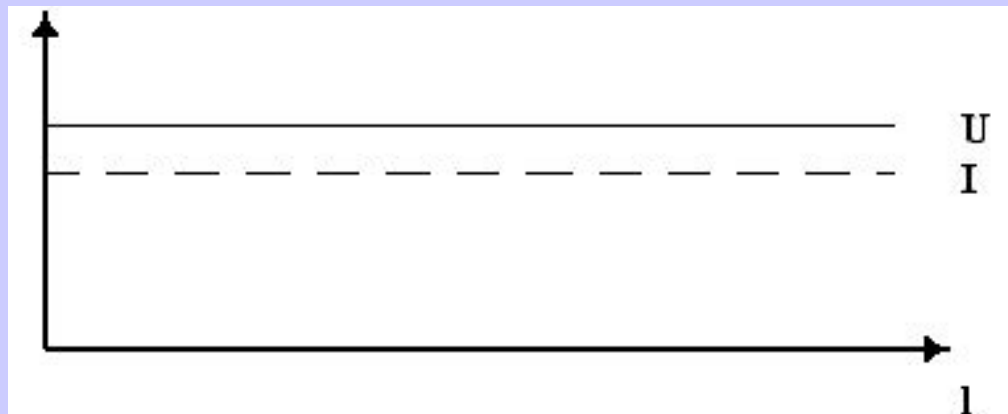
- до 3МГц - екрановані і неекрановані дротові лінії;**
- от 3МГц до 3ГГц - коаксіальні кабелі;**
- от 3ГГц до 300ГГц - металеві і діелектричні радіохвилеводи;**
- більше 300ГГц - квазіоптичні лінії.**

Кожна лінія передачі характеризується наступними електричними характеристиками і параметрами:

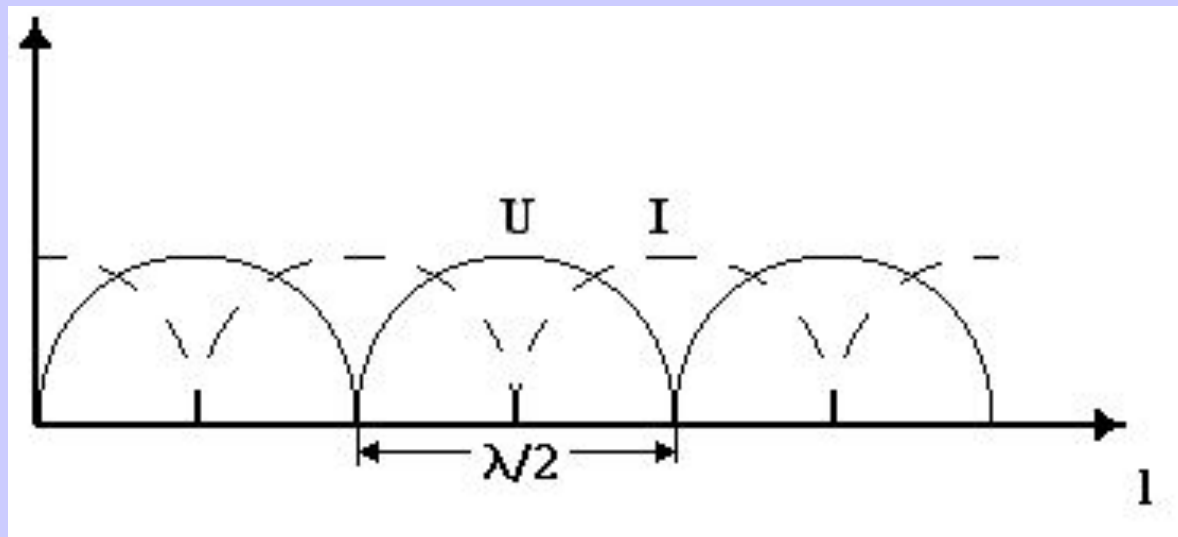
1. *Хвильвий опір* $Z_0 = \sqrt{L/C}$

2. *Режими роботи:*

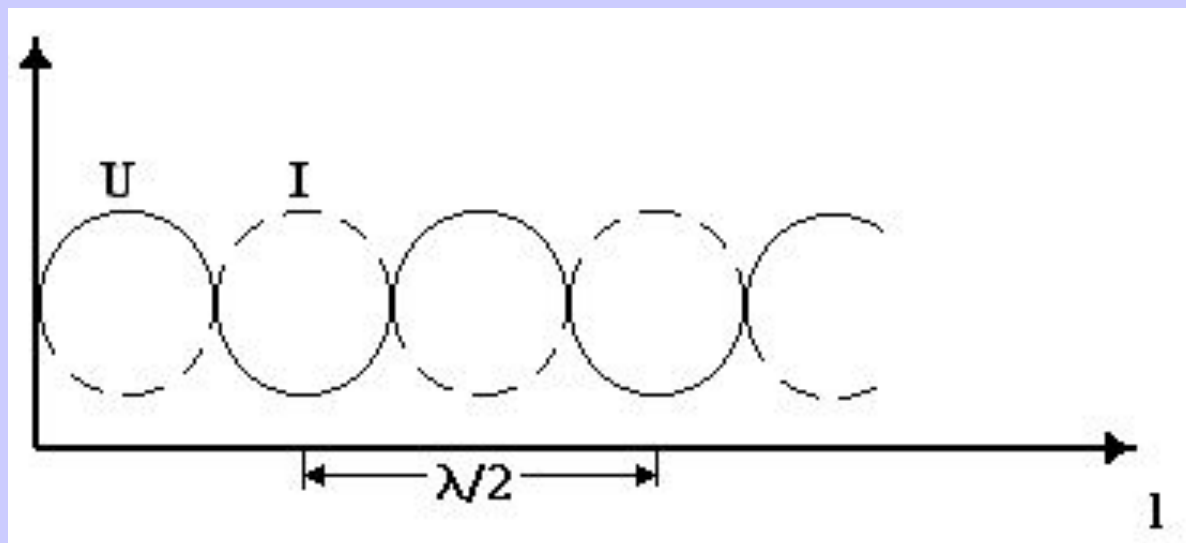
режим бігучої хвилі в лінії передачі має місце, якщо навантаження узгоджене з лінією передачі ($Z_0 = R_H$) і повністю поглинає падаючу на неї потужність, то відбиття хвилі не буде (коефіцієнт відбиття $P=0$);



режим стоячої хвилі в лінії передачі має місце, якщо навантаження не розсіює активну потужність і повністю відбиває падаючу хвилю (коефіцієнт відбиття $P=1$). В точках де фази напруги (струму) падаючої і відбитої хвилі співпадають, амплітуди напруги і струму вдвічі зростають. $U_{max} = 2U$; $I_{max} = 2I$. В цих перетинах лінії передачі можливі пробої.



змішаний режим, в лінії передачі буде мати місце, якщо навантаження на кінці лінії поглинає тільки частину падаючої на нього потужності, а частина відбивається (коефіцієнт відбиття $0 < P < 1$).



3. Характеристики режимів роботи:

□ коефіцієнт біжучої хвилі $K_{\text{бх}} = U_{\text{min}} / U_{\text{max}} = I_{\text{min}} / I_{\text{max}}$

□ коефіцієнт стоячої хвилі $K_{\text{сх}} = 1 / K_{\text{бх}}$

(режим біжучої хвилі $K_{\text{бх}} = 1, K_{\text{сх}} = 1, P = 0$; режим стоячої хвилі $K_{\text{бх}} = 0, K_{\text{сх}} = \infty, P = 1$) (змішаний режим $0 < K_{\text{бх}} < 1; 1 < K_{\text{сх}} < \infty; 0 < P < 1$).

4. **Максимальна пропускна потужність** обмежується електричним пробоем або перегрівом провідників і ізоляторів лінії передачі. (В імпульсному режимі більш небезпечний пробій, в неперервному - перегрів. $P_{\text{пропус}} = 25 \dots 30\%$ від потужності, яка веде до пробою або перегріву).

5. Коефіцієнт затухання $\alpha = \lg[P(0)/P(l)]$ дБ/м

$P(0)$ - потужність яка переноситься хвилею через початковий переріз фідера, $P(l)$ - потужність яка переноситься хвилею через кінцевий переріз фідера. Коефіцієнт затухання збільшується з приростом частоти. (В діелектриках α пропорційне f , а в провідниках α пропорційне \sqrt{f})

6. Тип хвилі, яка розповсюджується вздовж лінії:

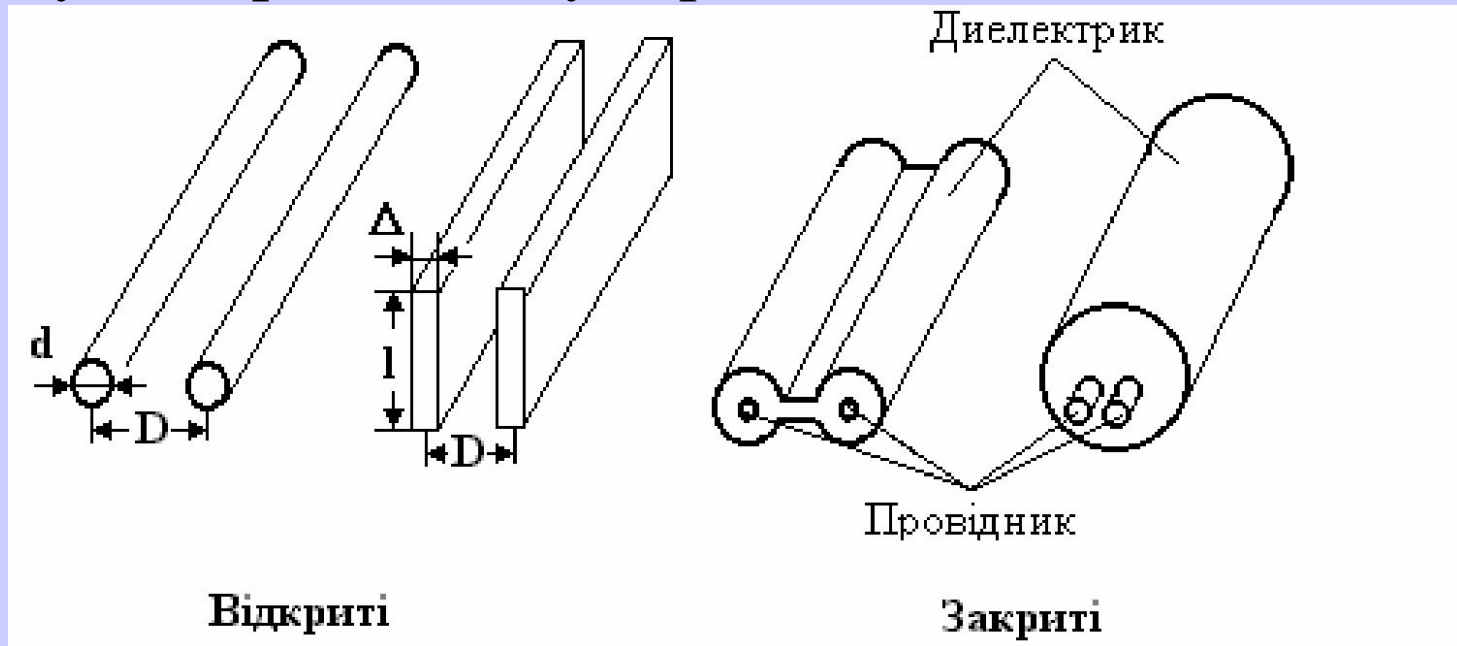
- поперечні електромагнітні хвилі - TEM (вектори E і H лежать в площині поперечній напрямку розповсюдження. TEM - хвилі розповсюджуються тільки в середовищах з однорідним діелектриком);
- поперечні електричні хвилі TE (або магнітні H - хвилі), $E_z = 0$; $H_z \neq 0$ не мають поздовжніх складових електричного поля;
- поперечні магнітні хвилі TM (або електричні E - хвилі), $E_z \neq 0$; $H_z = 0$ не мають поздовжніх складових магнітного поля.

Основні різновиди фідерних трактів

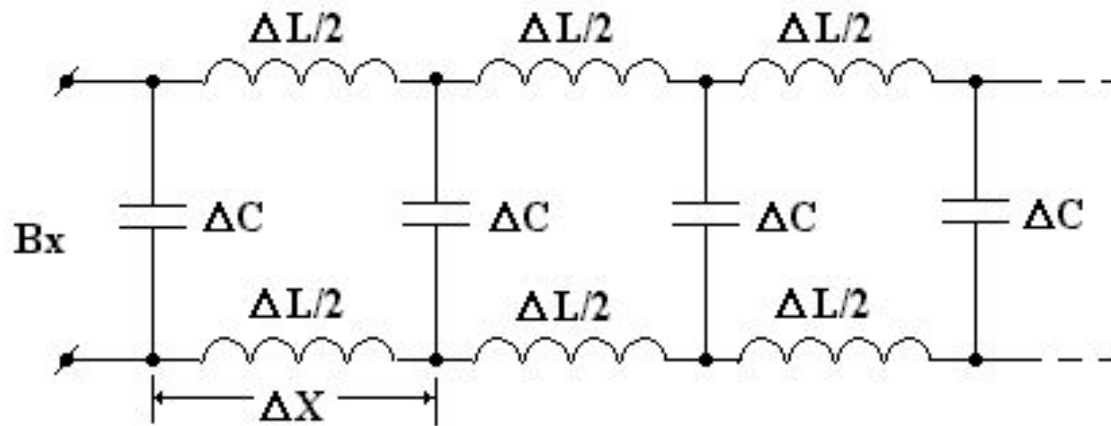
На даний час використовуються наступні типи фідерних трактів (або ліній передачі):

- двохпровідні;**
- коаксіальні;**
- хвилеводні;**
- смужкові;**
- волоконно-оптичні.**

Двохпровідні лінії можуть виконуватись у відкритому, закритому і в екранованому варіанті.



Використовуються в основному для живлення симетричних, довгохвильових і середньохвильових антен ($\lambda=10\text{км}\div 100\text{м}$). На більш коротких хвилях використанню двохпровідних ліній заважає помітне випромінювання і збільшення затухання у фідері. Хвильовий опір двохпровідної лінії залежить від діаметру її провідників d (d) і відстані між ними D .

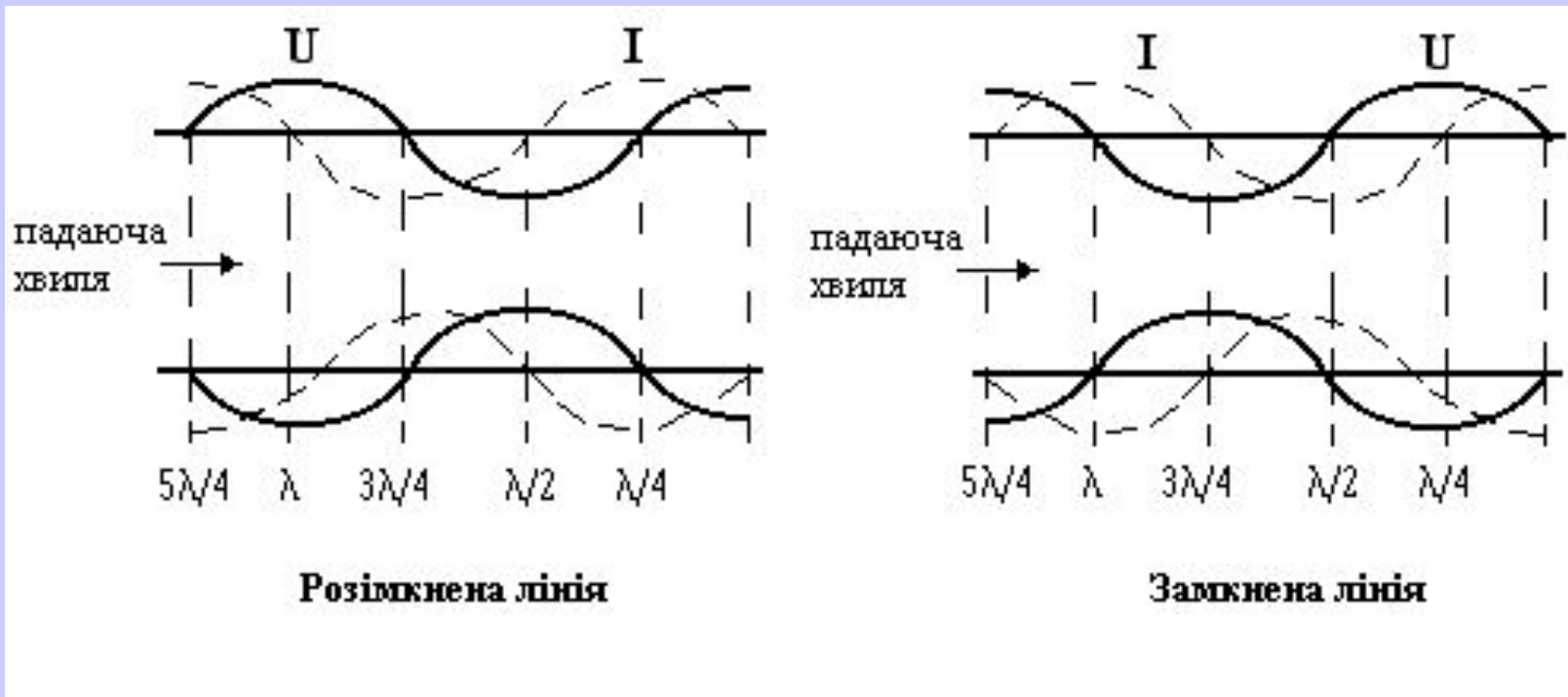


Еквівалентна схема двохпровідної лінії без урахування втрат

Якщо до лінії підключити $R_H = Z_0$ вона буде вести себе як безкінечно довга і в ній встановиться режим бігучої хвилі, тобто вся енергія від генератора буде поглинатись навантаженням.

Лінія розімкнена на кінці, повністю відбиває падаючу хвилю. Причому струм на розімкненому кінці завжди дорівнює нулеві, а напруга - подвоєній напрузі падаючої хвилі.

Лінія замкнена на кінці, також повністю відбиває хвилю що передається. Причому напруга на замкненому кінці рівна нулеві, а струм - подвоєному струмові падаючої хвилі.



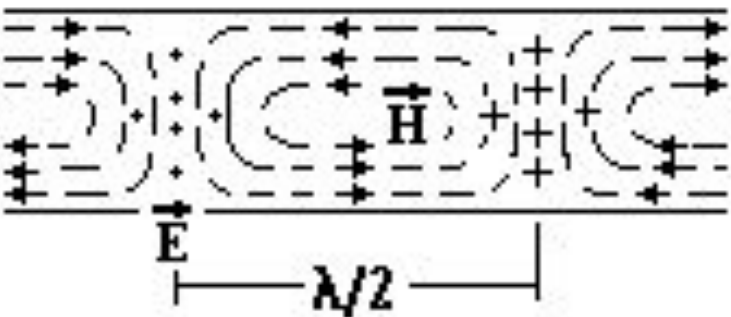
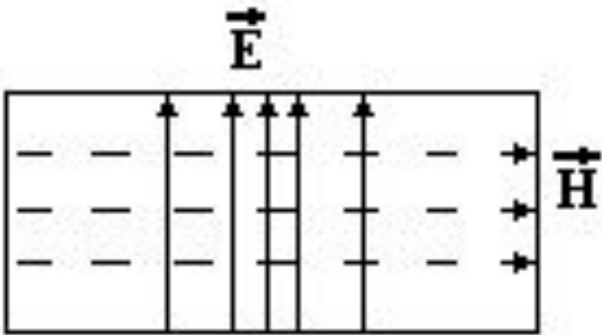
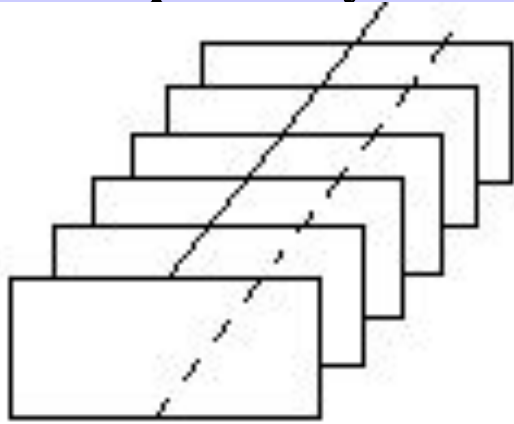
Великий опір навантаження трансформується через відрізок $\lambda/4$ в малий (понижуючий трансформатор).

Малий опір навантаження трансформується через відрізок $\lambda/4$ в великий.

Коаксіальні лінії можуть бути жорсткими або гнучкими. Область їх використання охоплює хвилі довжиною $10\text{см} \div 10\text{м}$. Хвильовий опір фідера залежить від співвідношення D/d і магнітних властивостей діелектрика. Коефіцієнт затухання обумовлений втратами в провідниках та діелектрику $\alpha = \alpha_M + \alpha_D$, де α_D - визначається параметрами діелектрика і робочою довжиною хвилі. α_M - залежить від розмірів провідника.

Перевагою коаксіальних ліній передачі є надійність екранування електромагнітного поля хвилі від зовнішнього простору.

Хвилеводні лінії - це порожнисті металеві труби, що використовуються для передачі електромагнітних хвиль.



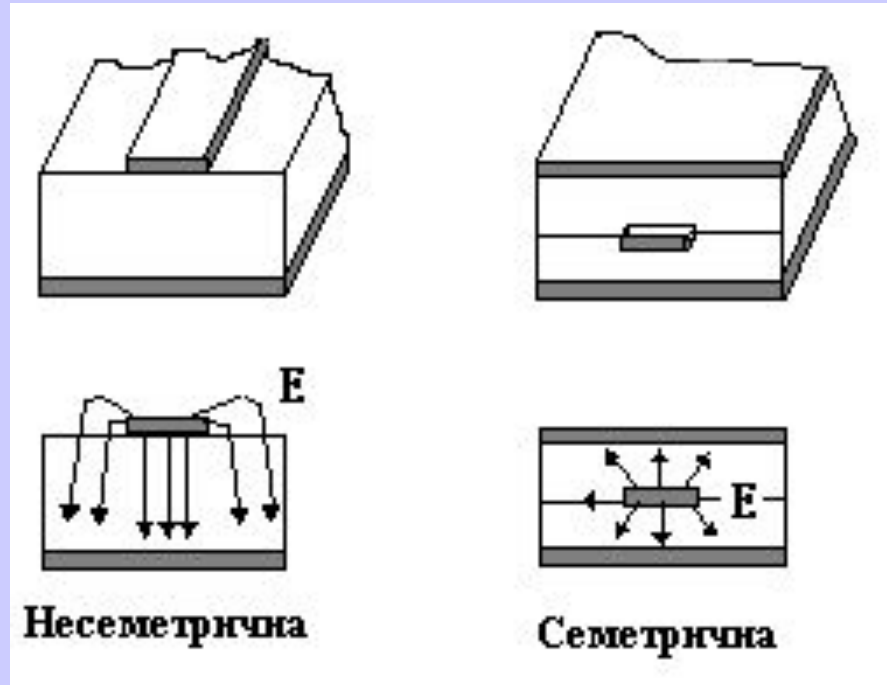
Прямокутний хвилевід утворюється із 2-х провідної лінії, провідники якої зв'язані безкінечною кількістю короткозамкнених чвертьхвильових відрізків.

Хвилеводи використовуються в *дм, см та мм* діапазонах хвиль.

По хвилеводу можуть розповсюджуватись коливання, якщо їх довжина хвилі приблизно на 10% менше критичної.

Структура електричних та магнітних полів хвилі H_{10} в прямокутному хвилеводі.

Смушкові лінії широко використовуються в *дм* і *см* діапазонах хвиль в основному для утворення складних розгалужених трактів.

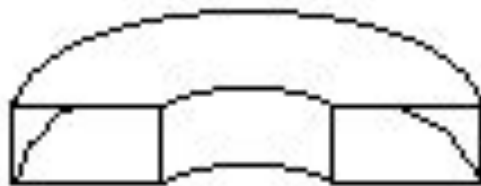


Волоконно-оптичні лінії використовуються в субміліметровому і оптичному діапазоні хвиль. Найбільш розповсюджені для цього типу є хвилеводи в формі ниток товщиною *150мкм* з особливо чистого кварцу.

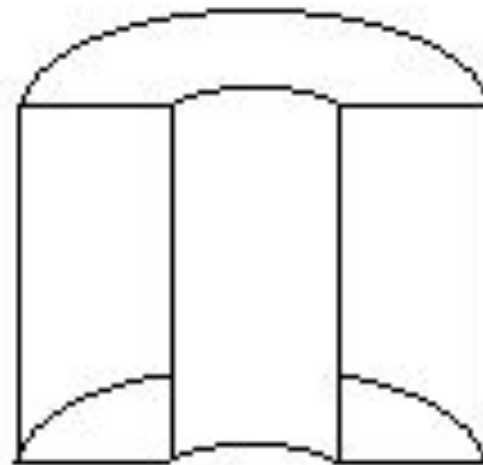
Основні елементи фідерних трактів

Згини, куточки, скрутки.

Різкі *згини* тракту викликають великі відбиття, тому часто використовують плавні згини. Оптимальні їх характеристики будуть в тому випадку, коли довжина згину складає ціле число напівхвиль в хвилеводі, а сам згин є плавним.

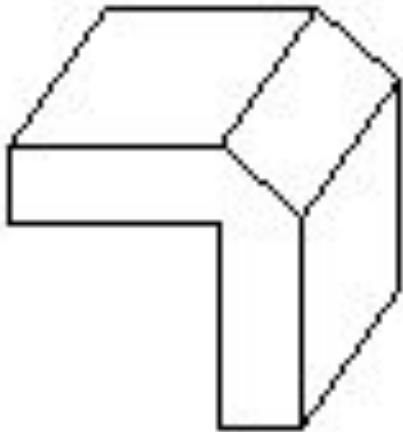


В площині E

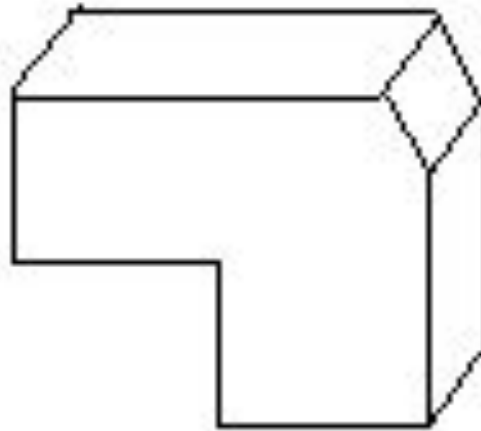


В площині H

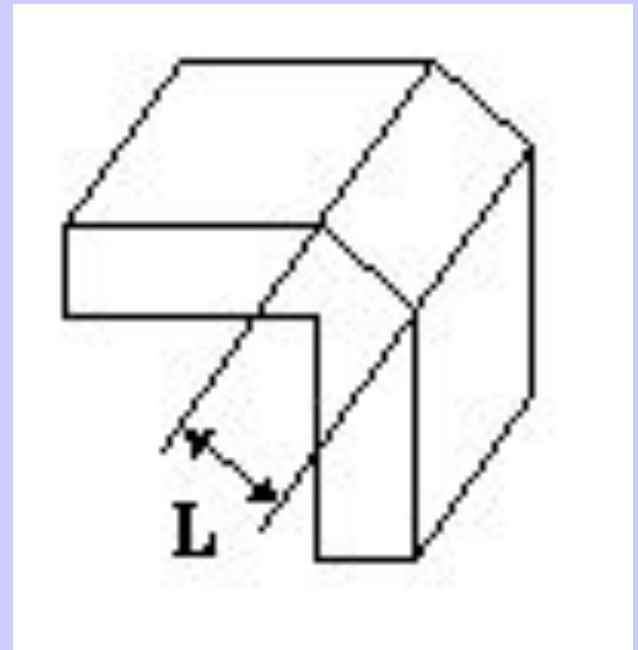
Куточки. Смуга пропускання частот складає біля 10% а $K_{CB} < 1,05$. Більш широкосмуговими є згини (кутки) з подвійним поворотом по 45° і $L = \lambda/4$. В цьому випадку відбиття від першого згину компенсується відбиттям від другого



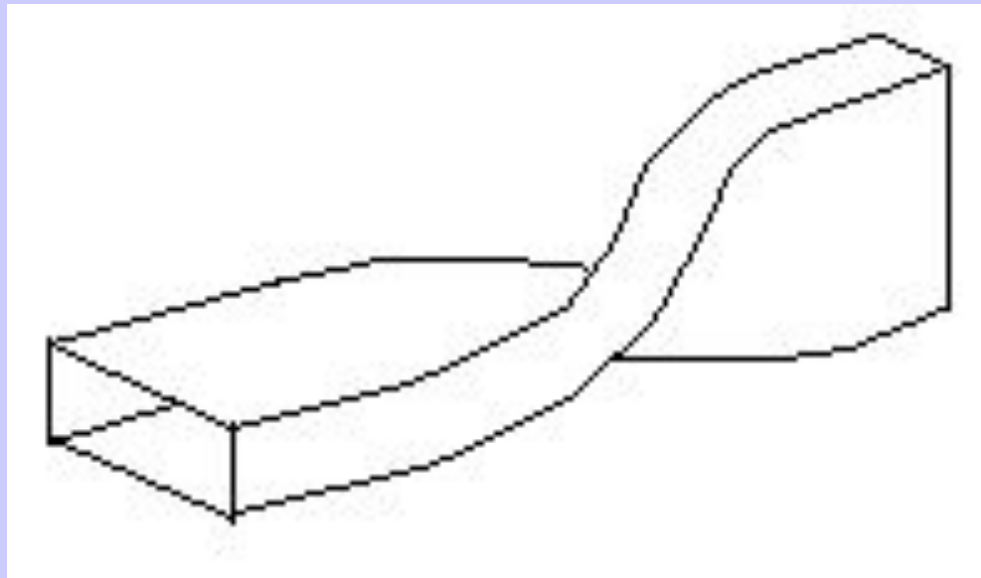
В площині E



В площині H

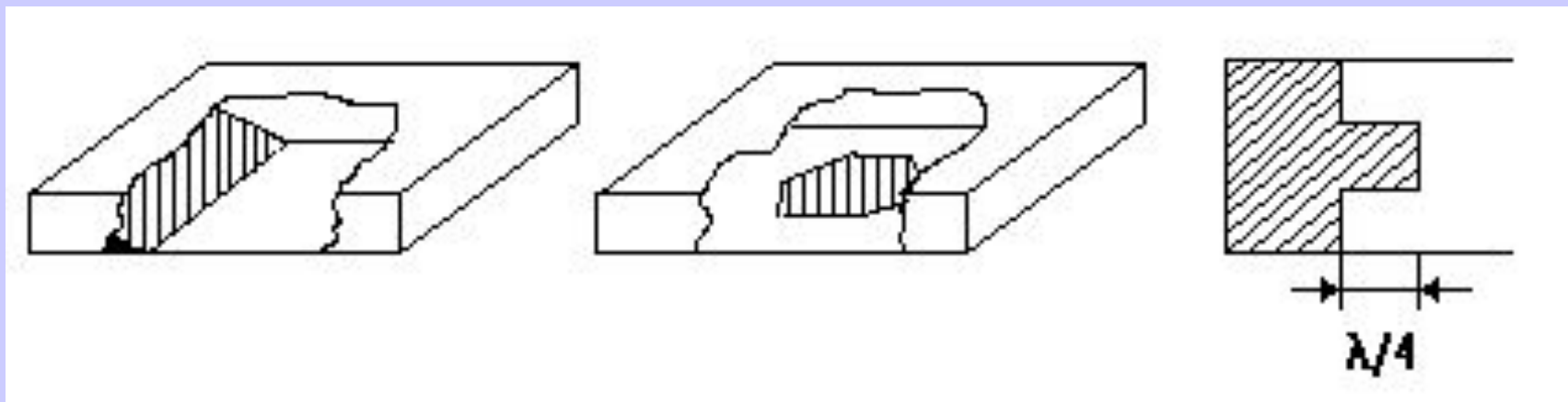


Скрутки дозволяють змінювати напрямок поляризації. При цьому найкраща узгодженість буде при довжині скрутки, що дорівнює декількох напівхвилям в хвилеводі $\Delta f = \pm 6\%$
 $K_{cx} < 1,1$.

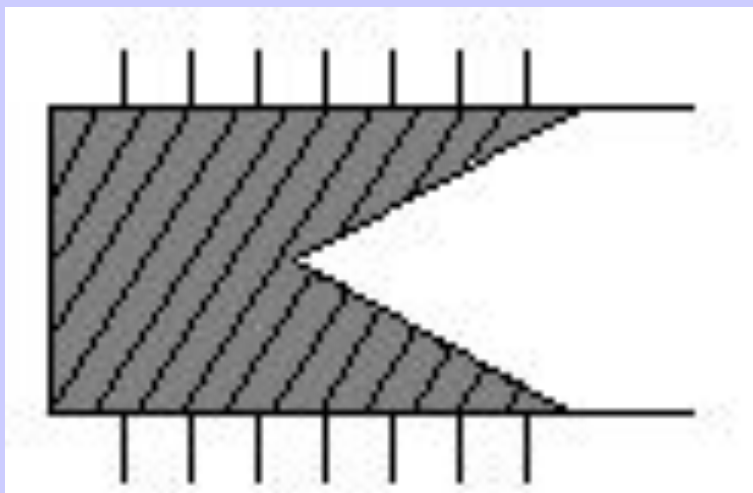


Поглиналильні навантаження.

Розділяють *малопотужні* і *потужні* поглиналильні навантаження. *Малопотужні* використовуються в направлених відгалужувачах, послаблювачах, малопотужних циркулярах. В ролі поглиналильного матеріалу часто використовують гетинаксові пластини покриті з одної сторони або обох сторін шаром графітової або вугільної суспензії. Для зменшення відбиття край поглиналильного матеріалу роблять зрізаним, клиноподібним або східцями. В останньому випадку частково заповнена частина довжиною $\lambda/4$ має хвильовий опір, рівний середньому геометричному із хвильових опорів частин хвилеводу, заповненого і незаповненого поглиначем.



Потужні поглинальні навантаження використовуються для розсіювання великих потужностей. Корпус таких навантажень роблять ребристим для покращення відведення тепла. Поглинальний матеріал роблять із металокераміки, до складу якого входить порошкове залізо або суміш піску з вугільним порошком.



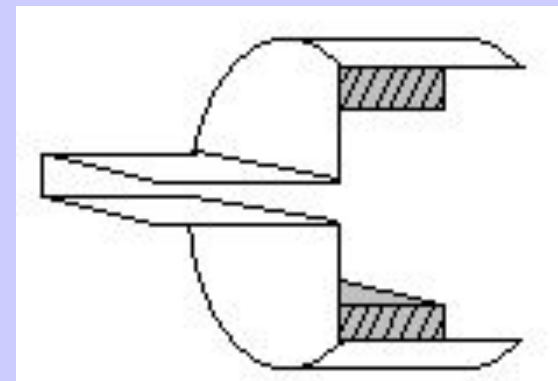
Переходи

Для з'єднання хвилеводів різних розмірів і типів часто приходиться використовувати спеціальні переходи:

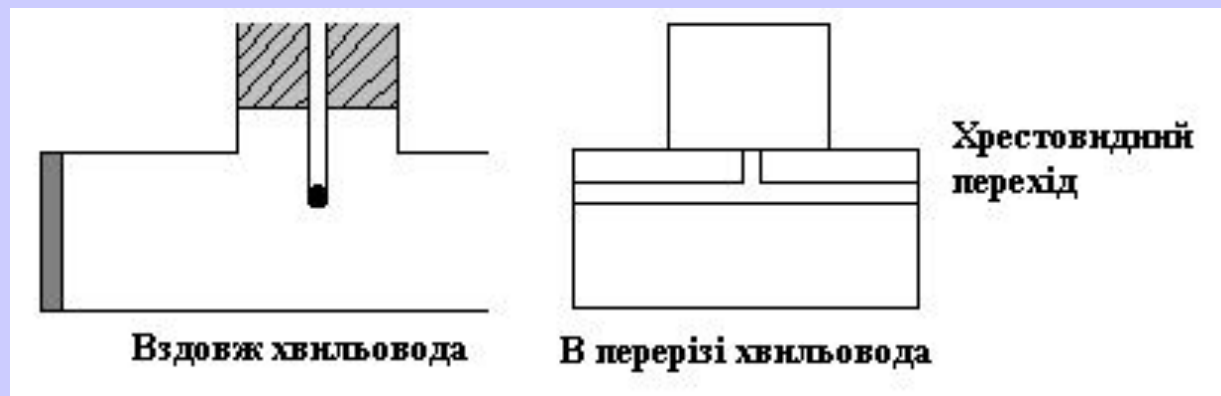
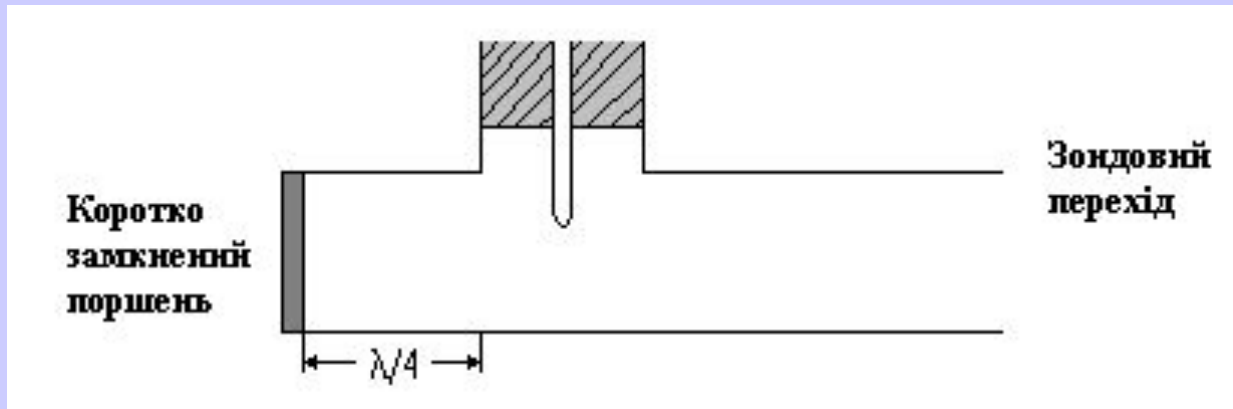
- плавний і східчасті перехід;
- від коаксіальної лінії до прямокутного хвилеводу;
- перехід від прямокутного хвилеводу до циліндричного.

Плавний перехід прямокутного хвилеводу представляє собою неоднорідну лінію з неперервно-змінюваними погонними параметрами, призначену для узгодження двох однорідних ліній з різними хвильовими опорами. Довжина перехідної секції хвилеводу вибирається не менше 2λ .

Східчасті переходи використовують, як правило, в межах розмірів стандартних хвилеводів одного і того ж діапазону.



Переходи від коаксіальної лінії до прямокутного хвильовода.
Хрестовий перехід є більш широкодіапазонним.

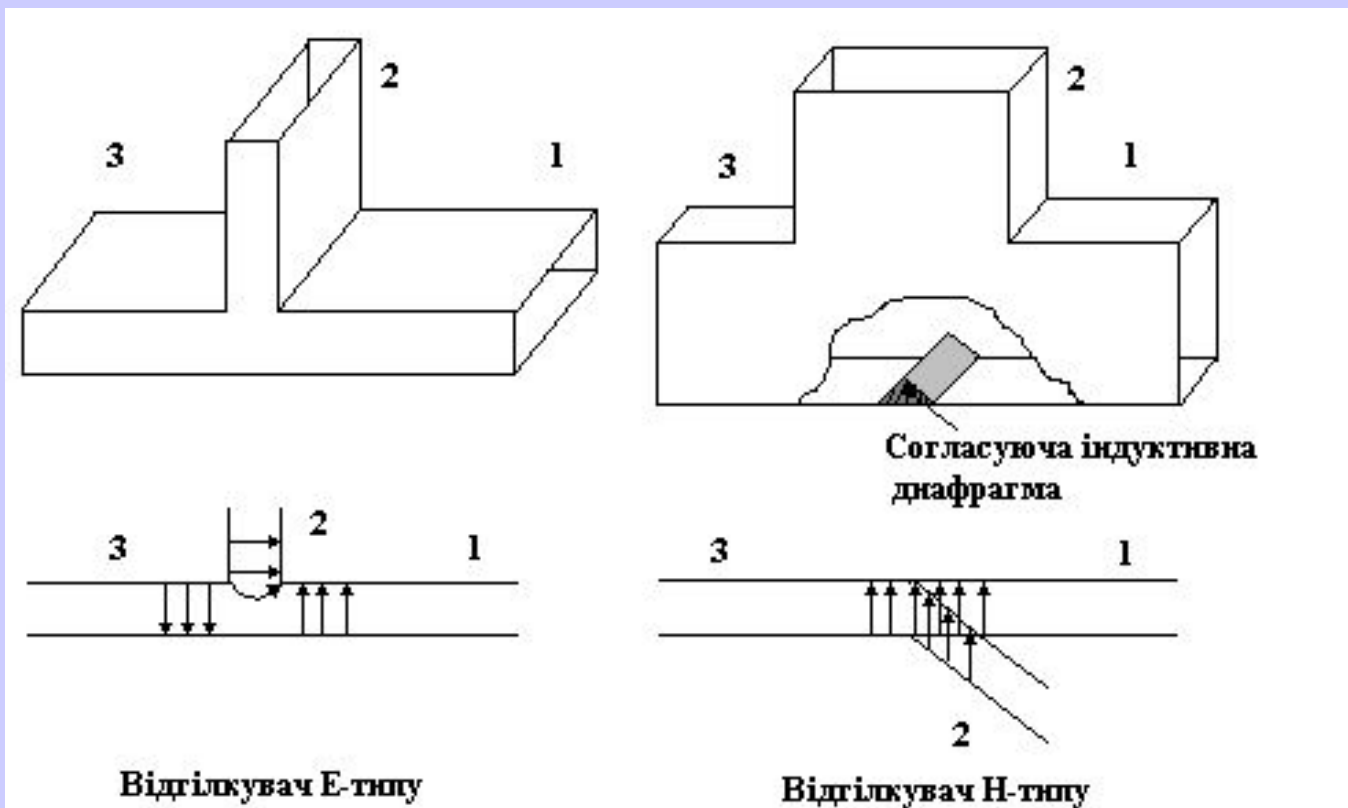


Відгалуження хвилеводів.

На практиці часто зустрічаються наступні відгалуження хвилеводів:

- Т - подібне з'єднання прямокутних хвилеводів;
- подвійний хвилеводний трійник;
- щілинний міст.

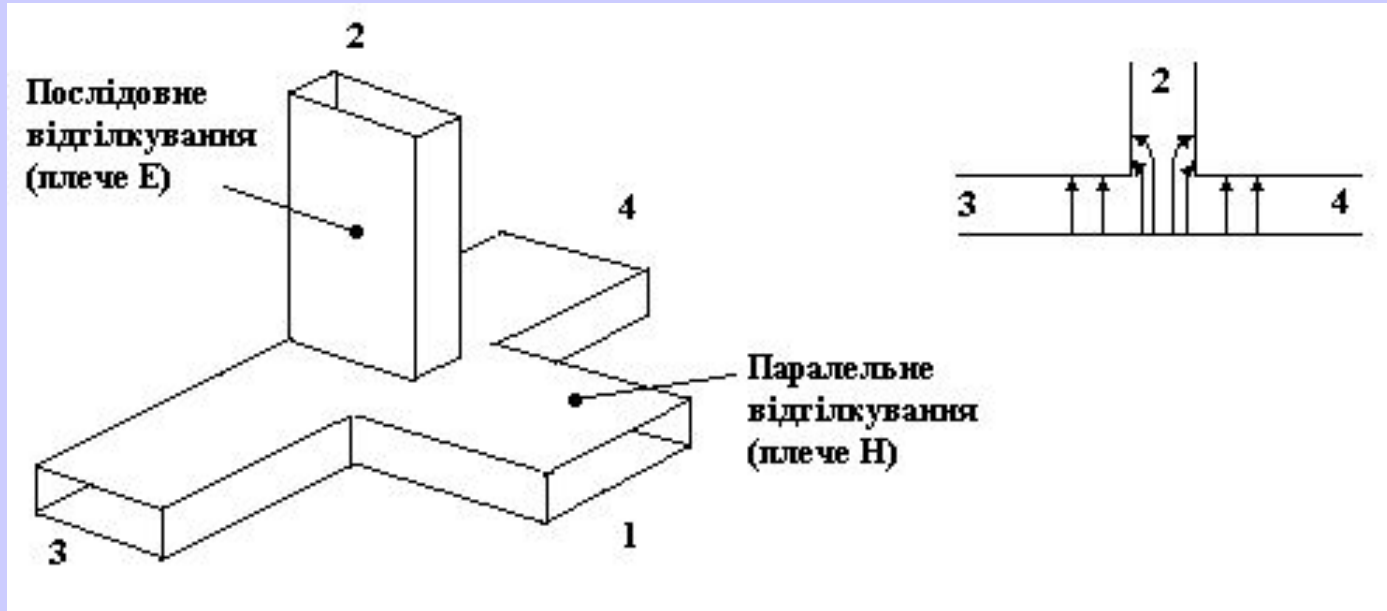
Т - подібні з'єднання мають наступний вигляд і розподіл електричного поля в них:



T - подібні з'єднання прямокутних хвилеводів для хвилі H_{10} мають такі властивості:

- завжди можна вибрати таке положення площини короткого замикання в одному плечі, при якому зв'язку між двома іншими не буде;**
- якщо трійник симетричний, то можна вибрати положення площини короткого замикання таким чином, що зв'язок між двома іншими плечами проходить без відбиття;**
- T - подібні з'єднання повністю узгодити практично не можливо.**

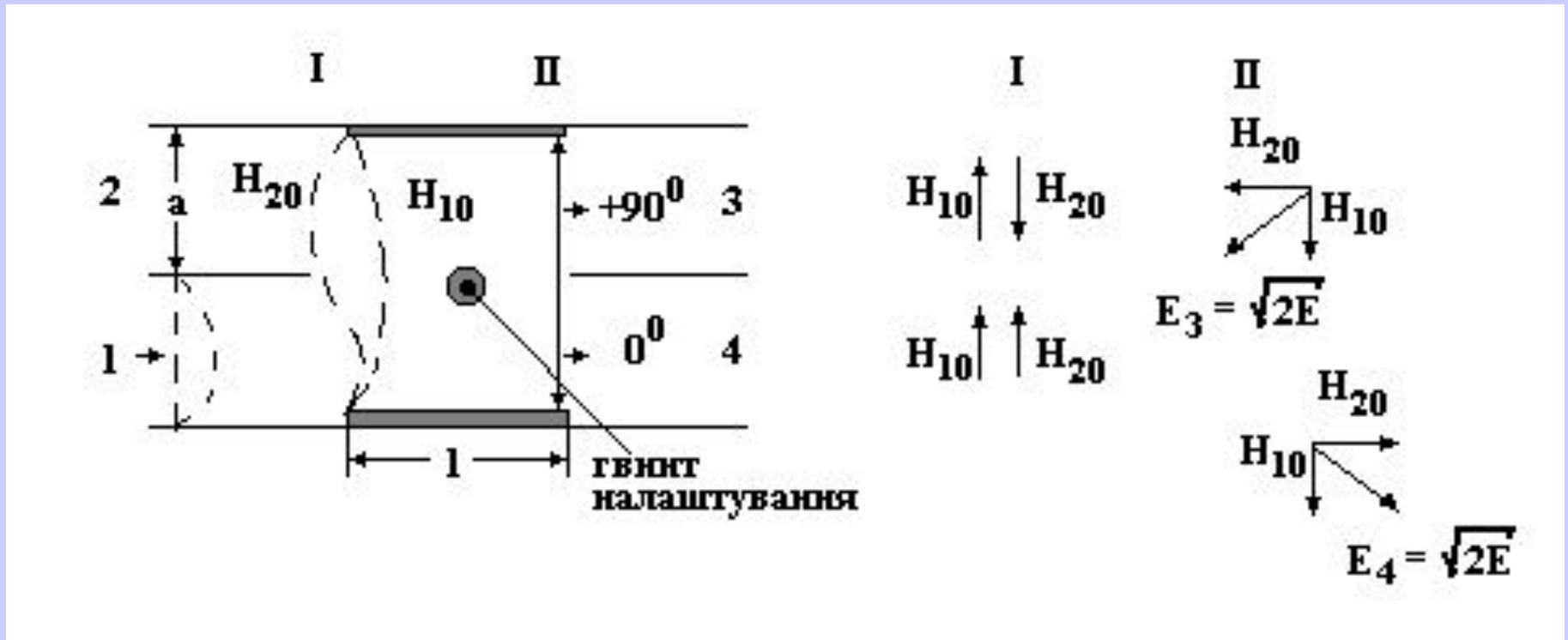
Подвійний хвилеводний трійник представляє комбінацію із двох T - подібних з'єднань і має вигляд:



Якщо бокові плечі 3 і 4 симетрично навантажені, то потужність яка поступає на плече 1, порівну ділиться між боковими плечами 3 і 4 і не поступає в плече 2. На основі властивості зворотності можна стверджувати, що якщо з бокових плеч приходить дві хвилі H_{10} з рівними амплітудами і фазами, то вони складаються в плечі 1 і взаємно компенсуються в плечі 2. При живленні із плеча 2 і симетрії навантажень в бокових плечах потужність ділиться між боковими плечами і не поступає в плече 1.

Із наведених властивостей випливає, що плечі Е і Н подвійного трійника взаємно розв'язані, тобто енергія хвилі H_{10} не може переходити із плеча Е в плече Н і навпаки. Якщо в обох плечах головного хвилеводу розповсюджуються хвилі з рівними амплітудами і до Т - з'єднання вони приходять в протифазі, то амплітуда хвилі в відгалуженому хвилеводі буде рівна подвоєній амплітуді хвилі в головному хвилеводі для Е - трійника і нулевій для Н - трійника. Якщо ж хвилі приходять до Т - з'єднання в фазі, то в відгалуженому хвилеводі амплітуда хвилі буде рівна нулевій для плеча Е і подвоєною для плеча Н.

Щілинний міст представляє собою з'єднання двох прямокутних хвилеводів, зв'язаних між собою через отвір (щілину) довжиною l в загальній вузькій стінці (висота отвору в загальному випадку дорівнює висоті хвилеводу) і має наступний вигляд:



Якщо в каналі 1 розповсюджується хвиля H_{10} , то на початку щілини (перетин 1) розподіл поля хвилі H_{10} змінюється. Утворюються два типи хвиль - H_{10} і H_{20} , які переносять однакову потужність. Згідно зі структурою обох хвиль їх поля мають однакову фазу в каналі 1 і обернену в каналі 2. При цьому в канал 2 хвиля практично не поступає (проникає менше 2% потужності). При русі хвиль H_{10} і H_{20} в щілині зсув по фазі між ними постійно змінюється, так як їх фазові швидкості в хвилеводі різні (явище дисперсії) тобто на ділянці подвоєного хвилеводу хвиля H_{20} буде випереджати по фазі хвилю H_{10} . Можна підібрати таку довжину щілини, щоб зсув фаз між сигналами в каналах 3 і 4 був 90° . Потужність хвилі вхідної в канал 1, ділиться порівну в каналах 3 і 4. Для отримання зсуву фази на 90° довжина щілини l постійно береться $1,4a$. В щілинний міст вставляють вкладку, для того щоб в щілині не збуджувались хвилі вищого типу. Для вирівнювання потужностей в каналах 3 і 4 вводять ємнісний регулювальник за допомогою реактивного штиря, який розміщується по середині щілини зв'язку.

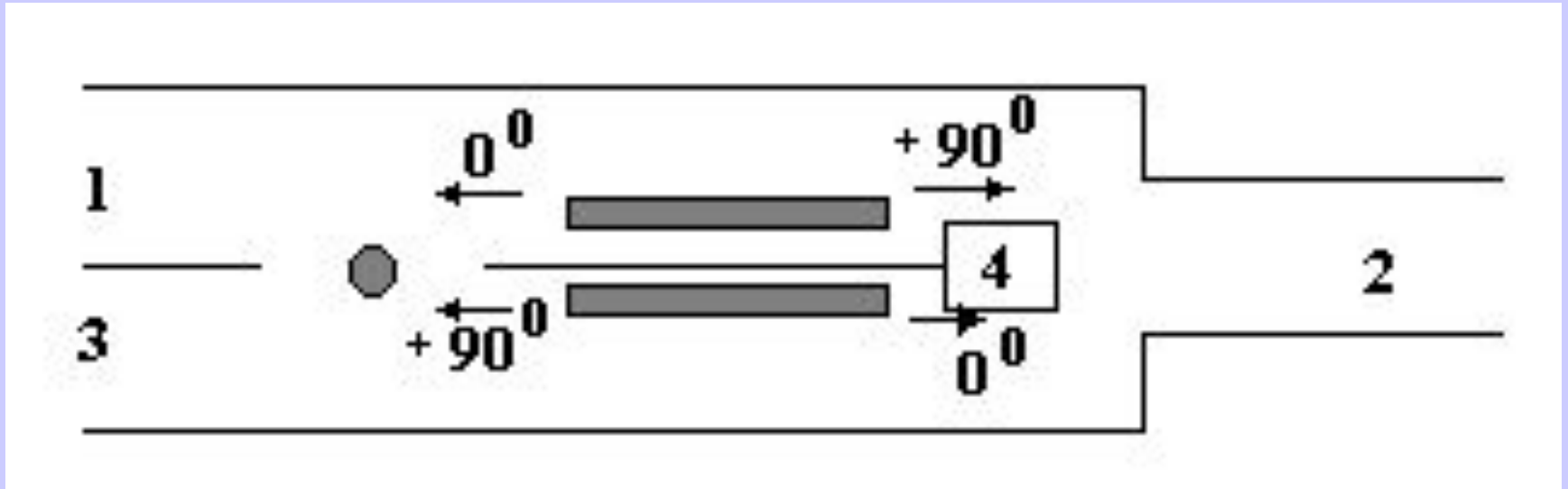
Антенні перемикачі (АП).

АП в імпульсній РЛС підключає антену до передавача під час випромінювання і одночасно захищає приймач, а під час приймання підключають антену до приймача і блокує ланцюг передавача.

Відомо три типи схем АП:

- відгалужувальні схеми з розрядником;**
- балансні схеми;**
- феритові циркулятори.**

феритовий циркулятор



Сигнал потрапивши в плече 1 ділиться навпіл щілинним мостом і зсувається по фазі на 90° . При проходженні феритових пластин відбувається додатковий зсув фази, в наслідок чого сигнали складаються в фазі в плечі 2. Розглядаючи далі проходження сигналу ми бачимо, що він іде суворо в визначеній послідовності 1-2-3-4-1.