

**Гібридні та монолітні інтегральні пристрої
мікрохвильового діапазону**

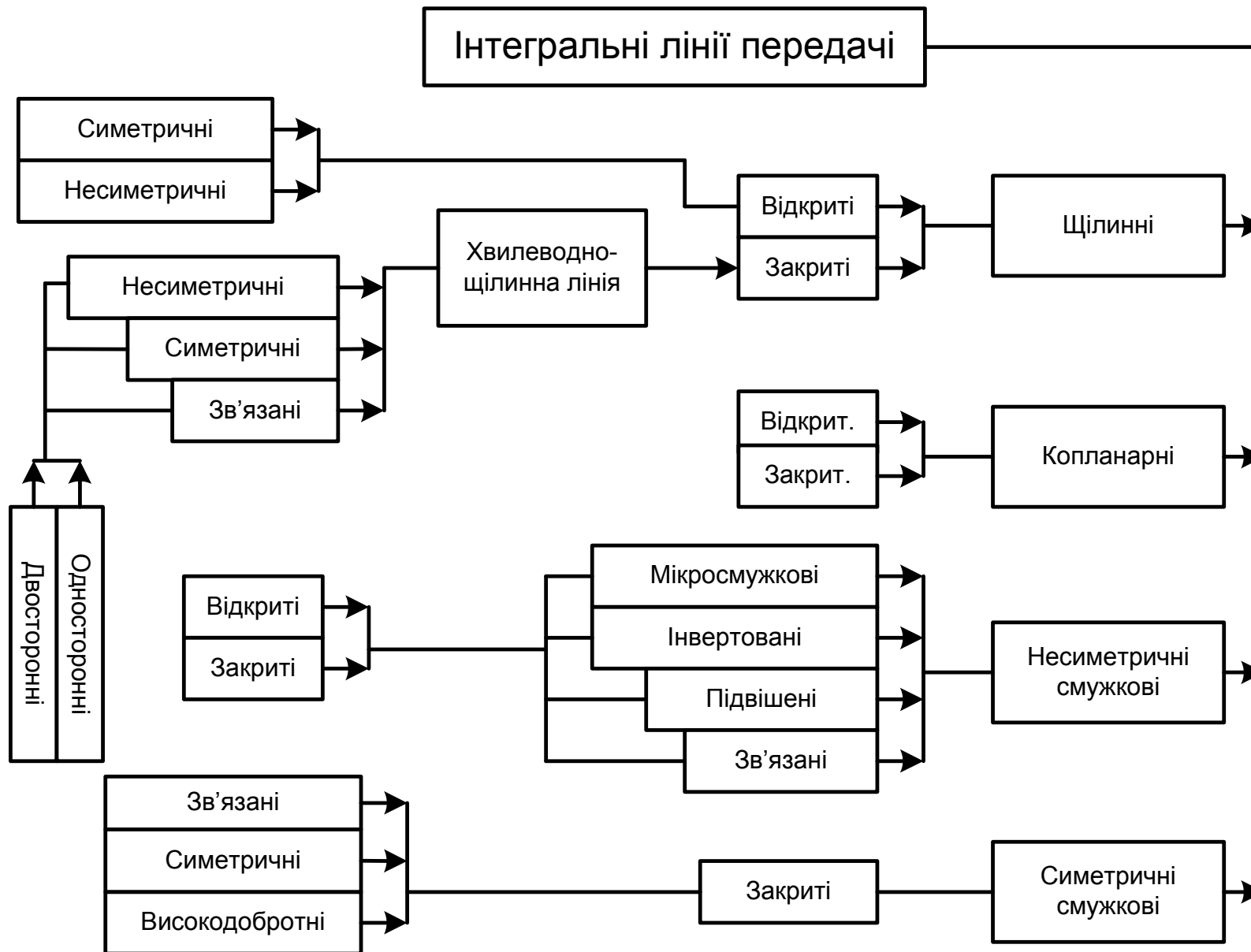
**Основні лінії передачі
гібридних інтегральних схем
мікрохвильового діапазону**

Загальна інформація

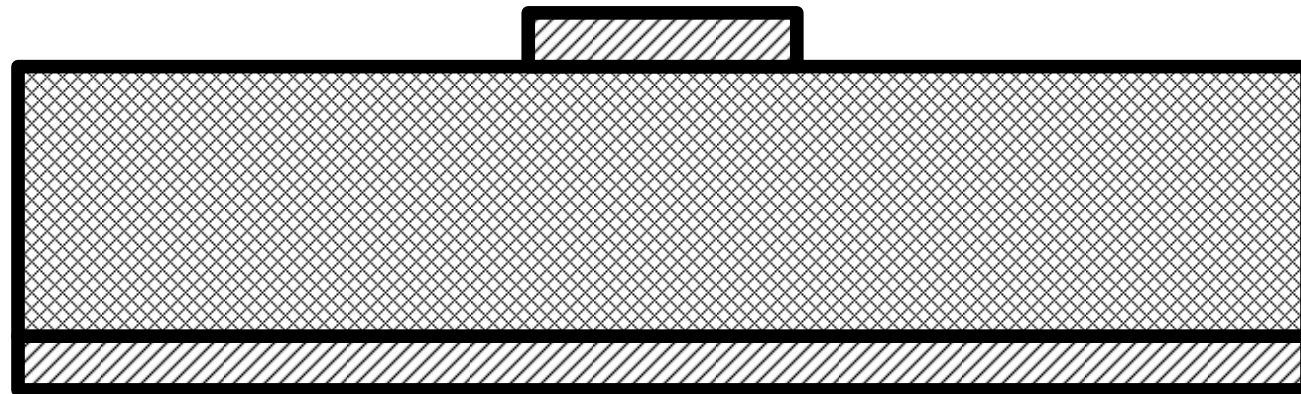
Основні вимоги до ЛП ГІС:

- малі дисипативні втрати;
- передача сигналів з малими спотвореннями у заданій смузі частот;
- невеликі габарити та маса;
- забезпечення електрогерметичності;
- технологічність виготовлення та хороша повторюваність в умовах серійного виробництва.

Основні типи інтегральних ЛП

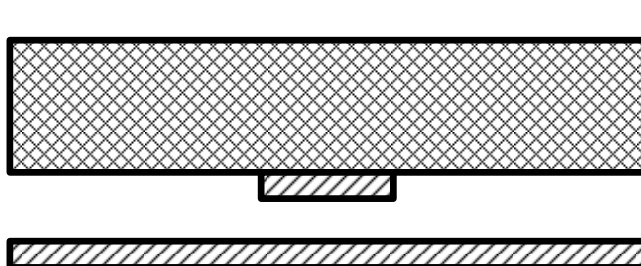


Поперечні перерізи основних типів інтегральних ЛП

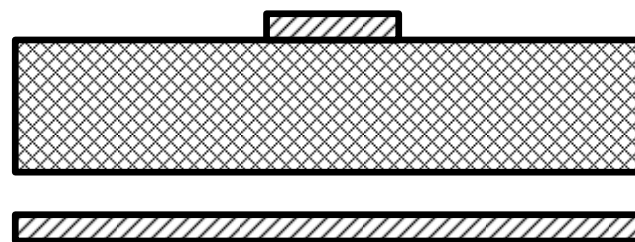


Мікросмужкова лінія (МСЛ, *microstrip line*)

Поперечні перерізи основних типів інтегральних ЛП



Інвертована МСЛ
(inverted microstrip line)



Підвішена МСЛ
(suspended microstrip line)

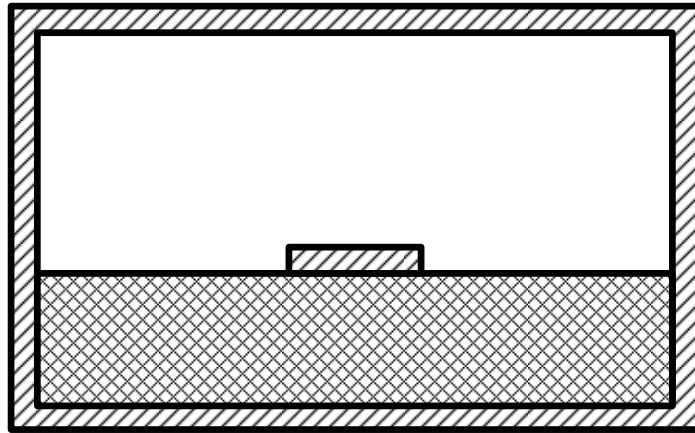
Їх було запропоновано для використання на НЗВЧ з метою зменшення втрат, характерних для МСЛ, збільшити розміри та допуски (при збереженні квазі-ТЕМ-режиму хвиль), спростити монтаж активних елементів, збільшити хвилевий опір.

Проте труднощі кріплення підкладки та збереження можливості збудження вищих типів хвиль обумовили інтерес до практичного використання цих ІЛП лише у закритому вигляді – див. наст. слайд.

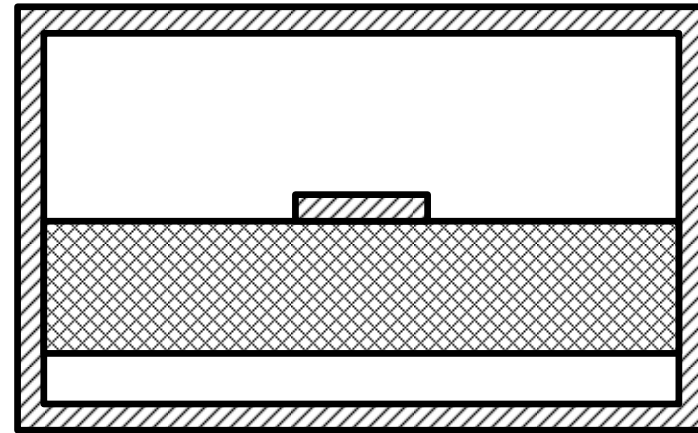
Частотний діапазон цих ІЛП – від 10 до 180 ГГц;

основна сфера використання – побудова малошумливих пристроїв НЗВЧ-діапазону (підсилювачів, змішувачів тощо).

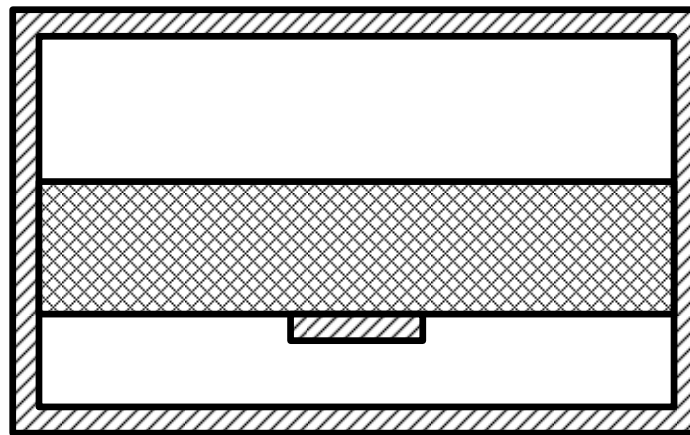
Поперечні перерізи основних типів інтегральних ЛП



Закрита МСЛ
(shielded substrate stripline)

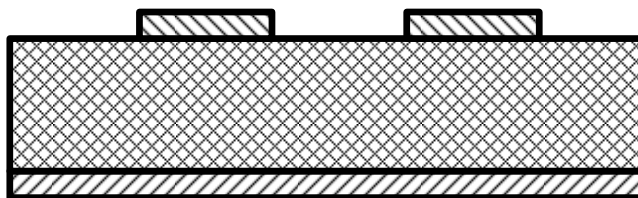


Закрита підвішена МСЛ
(shielded suspended substrate stripline)



Закрита інвертована МСЛ **(shielded inverted substrate stripline)**

Поперечні перерізи основних типів інтегральних ЛП



Зв'язані мікросмужкові (coplanar strips with ground)

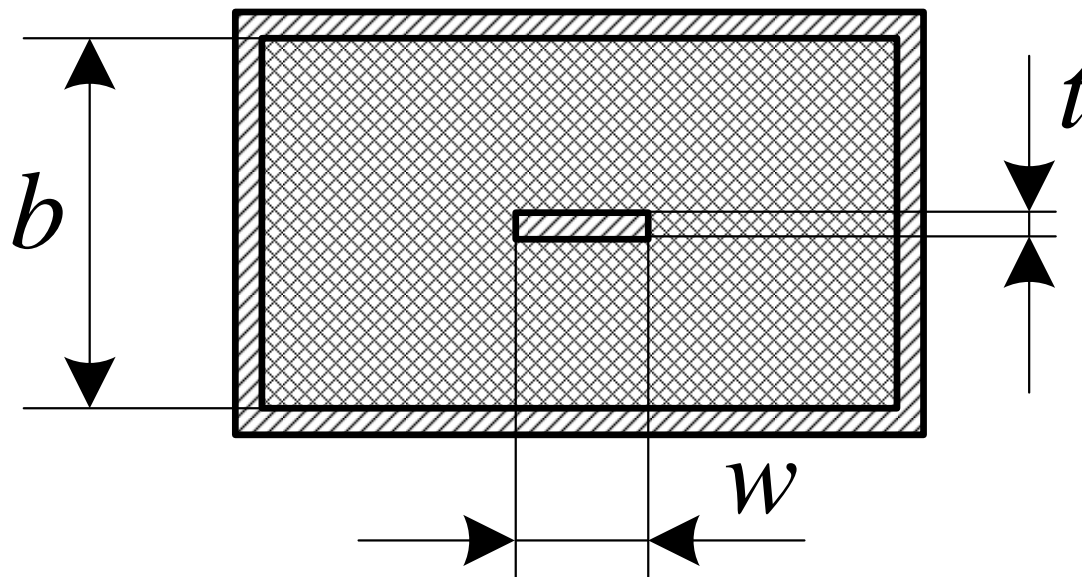
Електричні поля, які виникають довкола цих провідників, існують не лише у безпосередній близькості до кожного з них, тому з'являється взаємодія між ними внаслідок наявності крайкових полів, які залежать від різниці потенціалів між провідниками та їхньої форми, відстані між ними та параметрів діелектричної підкладки. Якщо між ЛП існує неперервно розподілений за довжиною електромагнітний зв'язок, то такі лінії називають зв'язаними.

Зв'язані лінії мають спільні заземлені пластини (чи екрани), поблизу яких паралельно один до одного розташовано внутрішні провідники.

Частотний діапазон визначається діапазоном робочих частот самих ліній, з яких сформовано зв'язані лінії;

основна сфера використання – побудова спрямованих відгалужувачів, змішувачів, фільтрів тощо.

Поперечні перерізи основних типів інтегральних ЛП



Симетрична смужкова (rectangular coaxial line)

Зазор між смужкою та заземленими пластинами в силу конструктивних особливостей (жорсткість кріплення тощо), а також з метою зменшення розмірів мікросхем заповнюють твердим діелектриком.

Основний тип хвилі – TEM, для якої

$$n = \sqrt{\epsilon_r}$$

ϵ_r - відносна діелектрична проникність однорідного матеріалу, який повністю заповнює поперечний переріз лінії.

Поперечні перерізи основних типів інтегральних ЛП

Один з варіантів для розрахунку хвильового опору такої ІЛП:

$$W = \frac{120\pi}{4\sqrt{\varepsilon_r}} \left[\frac{1}{\frac{w/b}{1-t/b} + \frac{2}{\pi} \ln \left(\frac{1}{1-t/b} + \operatorname{ctgh} \frac{\pi a}{2b} \right)} \right].$$

Для частинного випадку - $a = b$, $w = t$:

$$W = \frac{120\pi}{4\sqrt{\varepsilon_r}} \left[\frac{1}{\frac{1}{b/t-1} + \frac{2}{\pi} \ln \left(\frac{1}{1-t/b} + \operatorname{ctgh} \frac{\pi}{2} \right)} \right].$$

Поперечні перерізи основних типів інтегральних ЛП

За кінцевої товщини смужки, якщо при цьому $w/(b-t) < 10$ то хвилевий опір цієї ІЛП, з похибкою не більшою, ніж 0,5 % можна обчислити так:

$$W = \frac{30}{\sqrt{\epsilon_r}} \ln \left[1 + \frac{4m}{\pi} \left(\frac{8m}{\pi} + \sqrt{\left(\frac{8m}{\pi} \right)^2 + 6,27} \right) \right],$$

де
$$m = \frac{w}{b-t} + \frac{\Delta w}{b-t}; \quad \frac{\Delta w}{b-t} = (x/\pi)(1-x) \left[\left(\frac{x}{2-x} \right)^2 + \left(\frac{0,0796x}{w/b + 1,1x} \right)^p \right];$$

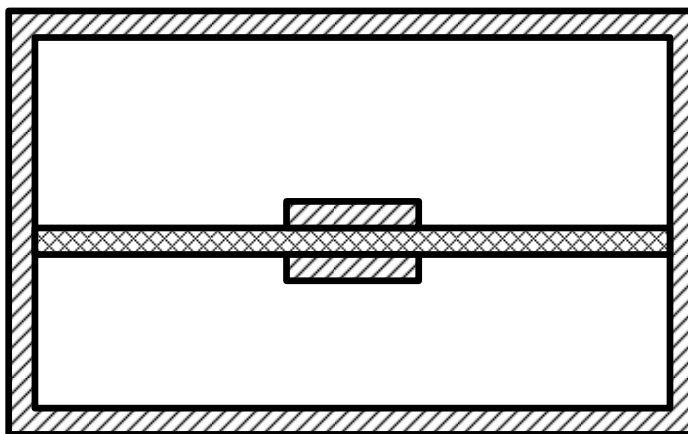
$$x = \frac{t}{b}; \quad p = \frac{2}{1 + 2x/(3 - 3x)}.$$

Критична (обмежує зверху робочу частоту) частота (розміри лінії тут у сантиметрах, частота – у ГГц):

$$f_{cr} = \frac{15}{(b\sqrt{\epsilon_r}/2)(2w/b + \pi/2)}.$$

Поперечні перерізи основних типів інтегральних ЛП

Для мінімізації діелектричних втрат використовують **високодобротну симетричну смужкову** лінію – рисунок.

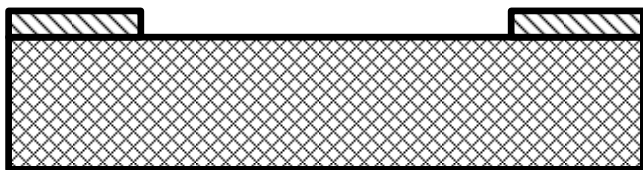


Високодобротна симетрична смужкова

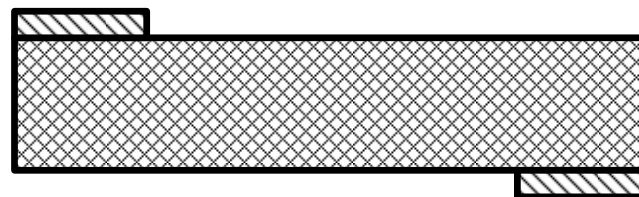
Внутрішній провідник такої ІЛП утворюють шляхом з'єднання між собою на входах і виходах паралельних смужок фольги на двох сторонах тонкого діелектричного листа. Електричне поле всередині діелектричного листа практично відсутнє, тому діелектрик практично не впливає на параметри лінії.

Останнім часом практично не використовується.

Поперечні перерізи основних типів інтегральних ЛП



**Симетрична щілинна лінія
(symmetrical slotline)**

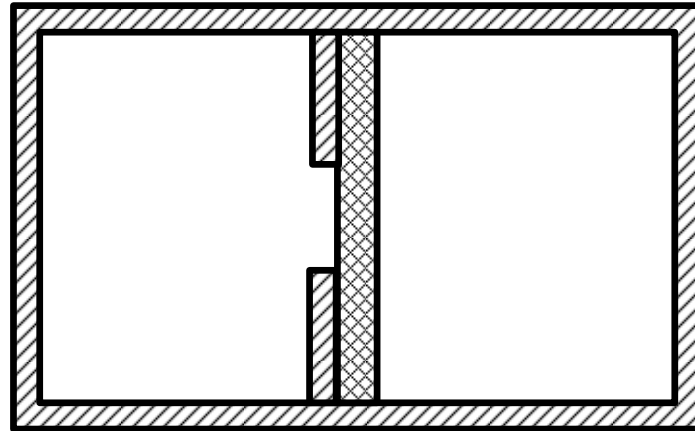


**Несиметрична щілинна лінія
(unsymmetrical slotline)**

Містить вузьку щілину у провідному шарі, який нанесено на поверхню тонкої діелектричної підкладки. Другу поверхню підкладки лишають вільною від покриття.

Завдяки цьому з'являється можливість зручного та простого приєднання паралельно до лінії зовнішніх зосереджених елементів. Також у ЩЛ є області еліптичної поляризації магнітного поля, що можна використати при створенні невзаємних феритових пристроїв. **А у поєднанні з МСЛ, нанесеною на другу сторону тієї ж підкладки, її можна використовувати для створення об'ємних інтегральних мікрохвильових схем.**

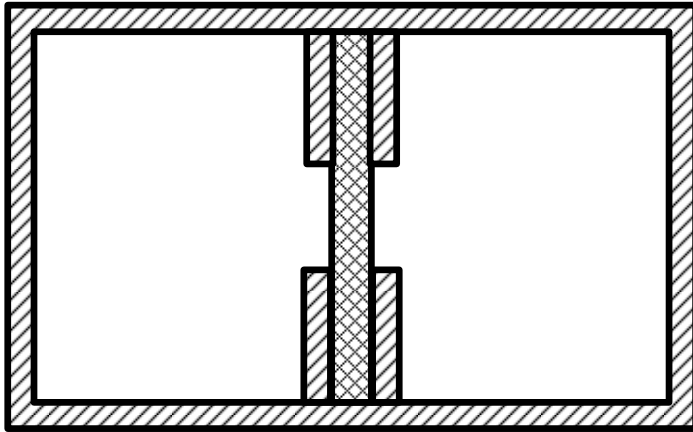
Поперечні перерізи основних типів інтегральних ЛП



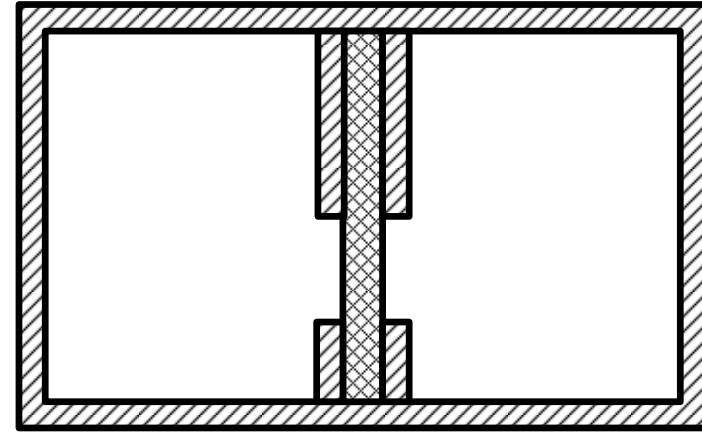
Симетрична одностороння хвилеводно-щілинна лінія (ХЩЛ, unilateral finline)

Містить вузьку щілину у провідному шарі, який нанесено на поверхню тонкої діелектричної підкладки. Другу поверхню підкладки зазвичай лишають вільною від покриття.

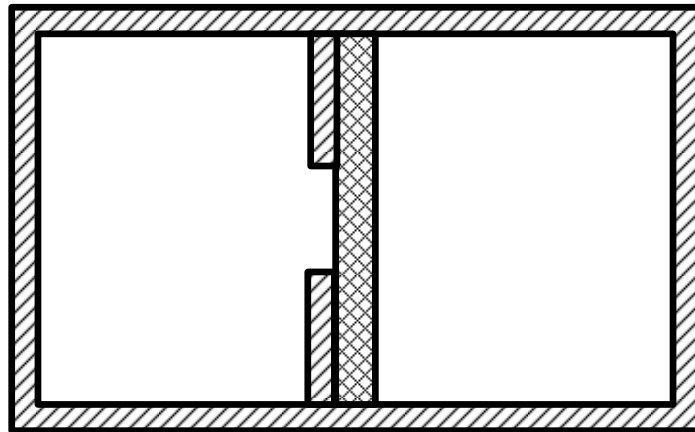
Поперечні перерізи основних типів інтегральних ЛП



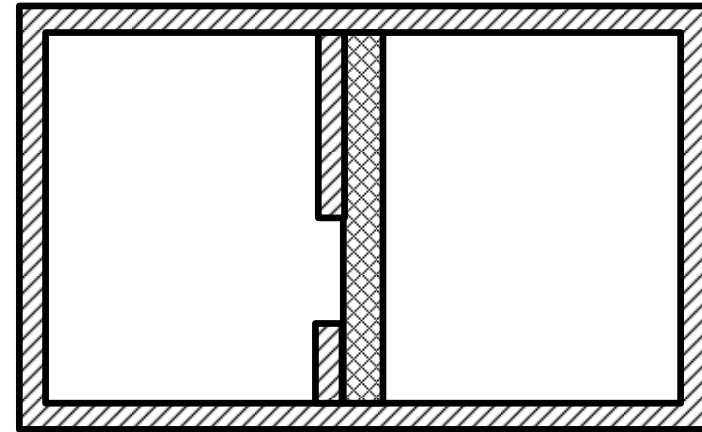
Симетрична двостороння ХЩЛ
(bilateral finline)



Несиметрична двостороння ХЩЛ
(bilateral off-center finline)

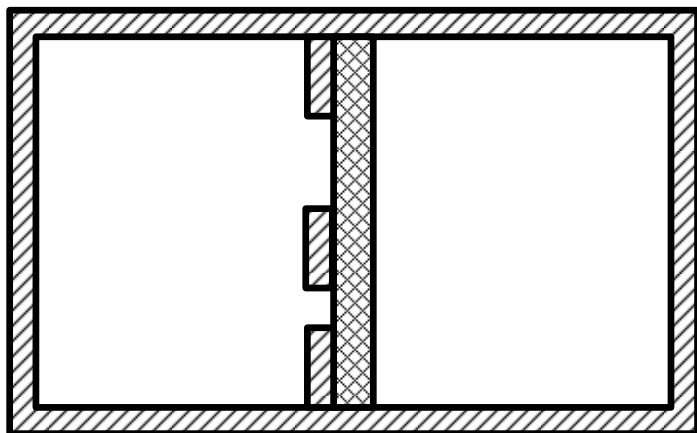


Симетрична одностороння ХЩЛ
(unilateral finline)

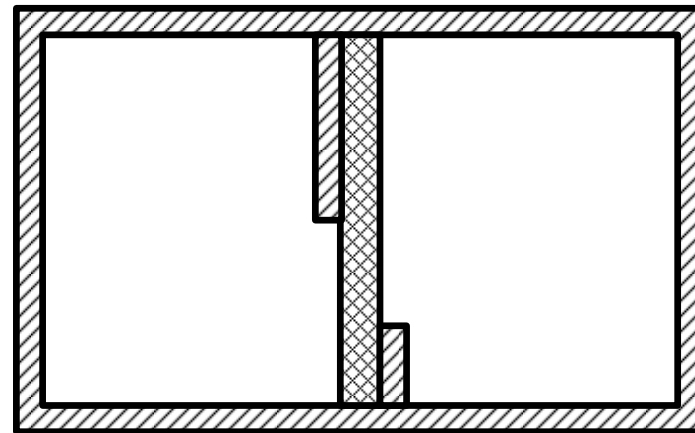


Несиметрична одностороння ХЩЛ
(off-center finline)

Поперечні перерізи основних типів інтегральних ЛП



**Зв'язання одностороння ХЩЛ
(coplanar unilateral finline)**



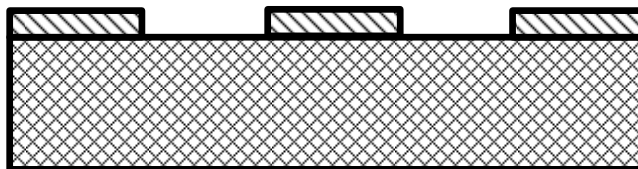
**Несиметрична одностороння ХЩЛ
(antipodal finline)**

Переваги ХЩЛ: широкосмуговість, нечутливість до допусків, малі втрати (наприклад, 10...15 дБ/м на частоті 115 ГГц), забезпечують режим поширення квазіосновних типів хвиль порожнього прямокутного хвилеводу, що дозволяє ефективно використовувати досить прості плавні переходи хвилевід – ХЩЛ.

Для підкладок ХЩЛ використовують діелектричні матеріали з малим значенням відносної діелектричної проникності (не більше 3...4).

Верхня частотна межа ХЩЛ близько 150 ГГц.

Поперечні перерізи основних типів інтегральних ЛП



Копланарна лінія (three coplanar strips)

Поширюються квазі-ТЕМ та Н-хвилі .

На копланарній лінії (КЛ) зручно розташовувати зовнішні зосереджені елементи при розробці інтегральних схем. Магнітне поле на поверхні підкладки еліптично поляризоване, що дозволяє використовувати КЛ для створення невзаємних феритових пристроїв.

Верхня частотна межа КЛ становить близько 120 ГГц.

Порівняльний аналіз різних типів інтегральних ЛП

Тип ЛП	Мінімізація		Здатність		Технологічність	Простота			Використання з феритами	Рекомендується використовувати з ЛП
	об'єму ІС	втрат	екранування	передачі великої потужності		монтажу активних елементів	суміщення з іншими типами ЛП	переходу на коаксіальну лінію		
Мікросмужкова (МСЛ)	4	2	3	3	5	4	5	5	3	ЩЛ, КЛ
Щілинна лінія (ЩЛ)	3	2	2	3	5	5	5	5	4	МСЛ, КЛ
Копланарна лінія (КЛ)	3	2	3	3	5	5	4	5	3	МСЛ, КЛ
Повітряна симетрична	1	3	4	5	1	3	2	5	2	-
Високодобротна	1	4	4	4	4	3	3	2	2	-
Хвилевід, заповнений діелектриком (ЗДХ)	4	5	5	5	1	2	2	2	5	ДХ
Діелектричний хвилевід (ДХ)	4	5	2	5	1	2	4	2	5	ЗДХ

1) Найкращі властивості – це цифра п'ять.

2) Дані наведено для частот до 10 ГГц.